

**SINTESIS KOMPLEKS MANGAN (II) DENGAN LIGAN 2-METIL  
IMIDAZOL MENGGUNAKAN METODE SOLVOTERMAL**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
FAIZ HAMDAN  
NIM. 15630119**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**SINTESIS KOMPLEKS MANGAN (II) DENGAN LIGAN 2-METIL  
IMIDAZOL MENGGUNAKAN METODE SOLVOTERMAL**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
FAIZ HAMDAN  
NIM. 15630119**

**Diajukan Kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**SINTESIS KOMPLEKS MANGAN (II) DENGAN LIGAN 2-METIL  
IMIDAZOL MENGGUNAKAN METODE SOLVOTERMAL**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
FAIZ HAMDAN  
NIM. 15630119**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 26 Juni 2021**

**Pembimbing I**



**Nur Aini, M.Si  
NIP. 19840608 201903 2 009**

**Pembimbing II**



**Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Si  
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi**



**Elok Kamilah Hayati, M.Si  
NIP. 19790620 200604 2 002**

**SINTESIS KOMPLEKS MANGAN (II) DENGAN LIGAN 2-METIL  
IMIDAZOL MENGGUNAKAN METODE SOLVOTERMAL**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
FAIZ HAMDAN  
NIM. 15630119**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal : 26 Juni 2021**

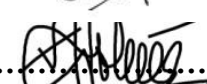
**Penguji Utama : Suci Amalia, M.Sc  
NIP. 19821104 200901 2 007**

(  
.....)

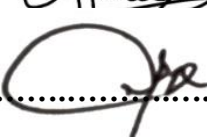
**Ketua Penguji : Rachmawati Ningsih, M.Si  
NIP.19810811 200801 2 010**

(  
.....)

**Sekretaris Penguji : Nur Aini, M.Si  
NIP. 19840608 201903 2 009**

(  
.....)

**Anggota Penguji : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Si  
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

(  
.....)

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi**

()

**Elok Kamilah Hayati, M.Si  
NIP. 19790620 200604 2 002**

## PERNYATAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Faiz Hamdan

NIM : 15630119

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Sintesis Kompleks Mangan (II) dengan Ligan 2-Metil  
Imidazol menggunakan Metode Solvothermal

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 29 Juni 2021

Yang Membuat Pernyataan,



Faiz Hamdan

NIM. 15630119

## MOTTO

عش ما شئت فإنك ميت  
وأحبب من شئت فإنك مفارقه  
واعمل ما شئت فإنك مجزي به

**“Hiduplah sesukamu tapi ingat engkau pasti mati”**

**“Cintailah siapa pun yang engkau suka tapi ingat kalian pasti  
berpisah dengannya”**

**“Berbuatlah sesukamu tapi ingat engkau pasti menemui (balasan)  
atas perbuatanmu itu”**

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Rasa syukur Alhamdulillah dihaturkan kepada Allah Swt. untuk kesempatan, kemampuan dan pelajaran dari takdir yang sangat indah yang sudah diberikan kepada hamba, dan hal terkecil yaitu dihidupkan dan diciptakan menjadi salah-satu hamba-Nya. Selanjutnya kepada Baginda Rasulullah Muhammad saw. sebagai tauladan untuk hidup sebagaimana mestinya seorang hamba.

Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya tercinta Bapak Hamdan dan Ibu Elwiyah yang selalu mendoakan, mendukung dan mencintai saya dengan setulus hati. Kepada kedua adik saya Jamilah Hamdan dan Zakiyah Hamdan yang menjadi penyemangan dikala saya lelah. Kepada Almarhum Kakek Nahrawi dan Nenek Sa'rani yang selalu mendoakan kesuksesan cucunya. Semoga kelak saya dan adik bisa menjadi pembuka jalan kalian ke surga terindah. serta seluruh keluarga yang sudah mendukung dan mendo'akan yang terbaik.

Semua sahabat saya yang selalu mendukung dan mendoakan tanpa pamrih, semoga Allah membalas kebaikan kepada kalian. Sahabat DINASTI PART (Ramzi, Ubed, Sulthon, Nuri, Karim), sahabat FM Group (Warits, Iksandi, Luthfi, Ilul, Feri, Zaen, Rafi, Anas, Ari, Fahmi, Upeq), sahabat seperngopian (Pras, Fatachi, Hanif, Nasrul, Mukhlis, Waked, Aldi, Nyun, Hanani, Thoif, Rizki, Raisal, Anwar, Anshori, Jeck), tretan IMAMA (Muqaddas, Affan, Holili, Inong, Abi), serta teman saya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, serta seluruh teman-teman Kimia C dan Kimia angkatan 2015 yang selalu mendoakan yang terbaik untuk saya. Semoga Allah membalas semua kebaikan kalian dengan segala kemudahan dan Rahmat-Nya

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah, selawat serta salam kita haturkan kepada baginda kita yakni Nabi Muhammad saw. yang telah memberikan suri tauladan kepada umatnya, sehingga dalam proses penulisan skripsi ini tidak terlepas dari nilai-nilai kehidupan yang menjadikan Allah Swt. sebagai tujuan, sebagaimana yang telah diajarkan oleh Rosulullah saw. Semoga kita menjadi umat yang pandai dalam mensyukuri segala nikmat yang telah diberikan Allah Swt., dan dengan harapan kelak mendapat syafaat dari baginda Nabi Muhammad saw. Amin.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu kriteria kelulusan yang ada di jurusan kimia. Skripsi ini dapat disusun karena dukungan, motivasi serta bimbingan dari berbagai pihak. Tiada kata yang patut terucap untuk menguntai sedikit makna kebahagiaan ini.

Oleh karena itu, izinkanlah penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dosen Pembimbing Ibu Nur Aini, M.Si dan Ibu Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc karena atas bimbingan, pengarahan, dan kesabarannya penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.



5. Dosen Penguji Ibu Suci Amalia, M.Sc dan Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si atas kesabaran dalam memberikan arahan agar skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Keluarga terutama orang tua, kedua adik penulis dan teman-teman selaku pendukung serta pemberi semangat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis sangat terbuka dengan saran dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan laporan hasil penelitian ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi sarana pembuka tabir ilmu pengetahuan baru, bermanfaat bagi kita semua dan untuk peradaban yang akan datang, Aamiin

Malang, 10 Mei 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
MOTTO .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR PERSAMAAN.....	xiii
ABSTRAK .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
ملخص البحث .....	xvi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompleks Polimer sebagai Material Penyimpan Hidrogen .....	8
2.2 Sintesis kompleks Polimer dengan Metode Solvothermal .....	14
2.3 Karakteristik Struktur Material Kompleks Polimer dengan <i>X-Ray</i> <i>Diffraction</i> (XRD) .....	18
2.4 Karakteristik Gugus Fungsi Kompleks Polimer dengan <i>Fourier</i> <i>Transform Infrared</i> (FT-IR) .....	21
2.5 Karakteristik Luas Permukaan, Volume Pori, dan Diameter Pori dengan <i>Surface Area Analyzer</i> (SAA) .....	23
2.6 Pandangan Islam tentang Senyawa Kompleks Polimer Mn(II) 2-metil imidazol sebagai Material Penyimpan Hidrogen .....	26

### BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat .....	28
3.2 Alat dan Bahan .....	28
3.2.1 Alat .....	28
3.2.2 Bahan.....	28
3.3 Rancangan Penelitian .....	29
3.4 Tahap Penelitian .....	29
3.5 Prosedur Kerja.....	30
3.5.1 Sintesis kompleks polimer Mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan metode solvothermal dengan variasi suhu pemanasan.....	30

3.5.2	Karakterisasi dan Analisis Data dengan Difraksi Sinar-X (XRD) .	30
3.5.3	Karakterisasi dan Analisis Data dengan <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	31
3.5.4	Karakterisasi dan Analisis data dengan <i>Surface Area Analyzer</i> .....	32

#### **BAB IV PEMBAHASAN**

4.1	Sintesis Kompleks Polimer Mangan (II) dengan Ligan 2-metil imidazol dengan Metode Solvotermal .....	35
4.2	Karakteristik Material Kompleks Polimer menggunakan Difraksi Sinar-X.....	38
4.3	Karakteristik Material Kompleks Polimer menggunakan Spektroskopi Inframerah .....	40
4.4	Karakteristik Material Kompleks Polimer menggunakan <i>Surface Area Analyzer</i> (SAA) .....	43
4.5	Sintesis Kompleks Mangan (II) dengan Ligan 2-Metil Imidazol dalam Perspektif Islam .....	47

#### **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	50

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	51
<b>LAMPIRAN</b> .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Volume Pori dan Luas Permukaan pada Material Penyimpan Hidrogen .....	11
Tabel 2.2 Variasi Waktu Sintesis Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol .....	17
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan.....	35
Tabel 4.2 Warna Khas Mn(II), Mn(III) .....	37
Tabel 4.3 Bilangan Gelombang Mn-2-metil imidazol .....	41
Tabel 4.4 Hasil karakterisasi <i>Surface Area Analyzer</i> (SAA) .....	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sudut ikatan dalam logam dengan Imidazol dan Zeolit .....	9
Gambar 2.2 Komplek Mangan dengan ligan 2-metil imidazol.....	12
Gambar 2.3 Struktur Dasar Ligan Imidazol.....	13
Gambar 2.4 Struktur geometri (a). $[\text{Zn}(\text{mImH})_4]^{2+}$ dan (b). $\text{Mn}(\text{mImH})_4]^{2+}$ .....	14
Gambar 2.5 Tahap pembentukan kristal Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) sebagai fungsi waktu.....	18
Gambar 2.6 (a) Kerangka Sodalit ZIF-8 (SOD) dan (b) Unit Satuan ZIF-8 Kompleks Polimer dari Logam Zn dan Ligan 2-metil imidazol : biru (Zn), kuning (sel), dan hitam (2-metil imidazol) .....	19
Gambar 2.7 Pola Difraksi Sinar X Senyawa yang Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) disintesis pada suhu (a) 80°C; (B) 100°C; (c) 120°C dan (d) 140°C.....	21
Gambar 2.8 Hasil FTIR kompleks mangan(II) 2,4,5-trifenilimidazol.....	23
Gambar 2.9 Tipe grafik isotherm adsorpsi berdasarkan IUPAC ( <i>International Union Of Pure and Applied Chemistry</i> ) .....	24
Gambar 2.10 Contoh adsorpsi-desorpsi nitrogen material kompleks polimer yang disintesis dari logam Zn dan ligan 2-metil imidazol.....	25
Gambar 4.1 Hasil sintesis kompleks polimer Mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol (a) suhu 140°C (b) suhu 150°C .....	36
Gambar 4.2 Dugaan mekanisme reaksi <i>N,N</i> -dimetil formamida (DMF) dengan ligan 2-metil imidazol .....	38
Gambar 4.3 Pola difraksi Mn-2-metil imidazol pada suhu 140°C dan 150°C.....	39
Gambar 4.4 Spektra FTIR (hitam= ligan 2-metil imidazol, merah = kompleks Mn-2-metil imidazol suhu 140°C, dan biru= kompleks Mn-2-metil imidazol suhu 150°C) .....	40
Gambar 4.5 Isoterm adsorpsi-desorpsi $\text{N}_2$ dari (a) Mangan(II)-2-metil imidazol pada suhu 140°C (b) Mangan(II)-2-metil imidazol pada suhu 150°C .....	44
Gambar 4.6 Penentuan luas permukaan menggunakan metode BET .....	45
Gambar 4.7 Distribusi ukuran pori dari (a) Mangan(II)-2-metil imidazol suhu 140°C (b) Mangan(II)-2-metil imidazol suhu 140°C .....	46
Gambar L.3.1 Proses sintesis kompleks Mangan(II)-2-metil imidazol .....	58
Gambar L.4.1 Difraktogram Mangan(II)-2-metil imidazol (140°C) .....	60
Gambar L.4.2 Difraktogram Mangan(II)-2-metil imidazol (150°C) .....	61
Gambar L.5.1 Spektrum IR dari Mangan(II)-2-metil imidazol (140°C) .....	62
Gambar L.5.2 Spektrum IR dari Mangan(II)-2-metil imidazol (150°C) .....	62
Gambar L.5.3 Spektrum IR dari 2-metil imidazol .....	63
Gambar L.6.1 Penentuan Luas Permukaan Mangan(II)-2-metil imidazol (140°C) .....	69
Gambar L.6.2 Penentuan Luas Permukaan Mangan(II)-2-metil imidazol (150°C) .....	70

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1. Persamaan Bragg .....	20
Persamaan 2.2 Penentuan luas permukaan.....	24
Persamaan 3.2. Penentuan nilai dari berat gas nitrogen ( $N_2$ ) yang membentuk lapisan monolayer ( $W_m$ ) .....	33
Persamaan 3.3. Penentuan nilai luas permukaan ( $St$ ).....	33

## ABSTRAK

Hamdan, Faiz. 2021. **Sintesis Kompleks Mangan (II) dengan Ligan 2-Metil Imidazol Menggunakan Metode Solvothermal**. Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Nur Aini, M.Si, Pembimbing II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc, Konsultan: Rachmawati Ningsih, M.Si

---

**Kata kunci:** Hidrogen, Kompleks Polimer, Solvothermal

Hidrogen adalah salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Selain memiliki kapasitas energi yang besar, penggunaan hidrogen sebagai energi alternatif juga dapat mengurangi polusi udara yang disebabkan oleh gas buang hasil dari penggunaan bahan bakar fosil. Material yang dapat digunakan sebagai penyimpanan hidrogen adalah kompleks polimer. Salah satu material kompleks polimer yang dapat digunakan adalah kompleks polimer Mn(II)-2-metil imidazol. Mn(II)-2-metil imidazol disintesis menggunakan metode solvothermal dengan variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C selama 24 jam. Material hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-ray diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan *Surface Area Analyzer* (SAA).

Berdasarkan hasil XRD pada produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C telah terbentuk senyawa yang kristalin yang diduga senyawa kompleks polimer Mn-2-metil imidazol dan pada pola difraksi pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C teridentifikasi senyawa lain bukan kompleks Mn-2-metil imidazol dengan munculnya puncak lain yaitu pada  $2\theta$  (°)= 19, 31, 39, dan 46. Hasil FTIR produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C dan pada produk 2 yang disintesis suhu 150°C terbentuk ikatan antara ligan 2-metil imidazol dengan logam Mn pada bilangan gelombang berturut-turut adalah 583,58  $\text{cm}^{-1}$  dan 596,17  $\text{cm}^{-1}$ . Data SAA menunjukkan luas permukaan dan ukuran pori produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C adalah sebesar 4,781  $\text{m}^2/\text{g}$  dan 3,42 nm serta pada produk 2 yang disintesis suhu 150°C memiliki luas permukaan 15,172  $\text{m}^2/\text{g}$  dan ukuran pori sebesar 3,05 nm.

## ABSTRACT

Hamdan, Faiz. 2021. **Synthesis of Manganese (II) Complexes with 2-Methyl Imidazole Ligands Using Solvothermal Method**. Essay. Chemistry Department, Science and Technology Faculty, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University. Supervisor I: Nur Aini, M.Si, Supervisor II: Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc, Co-Supervisor: Rachmawati Ningsih, M.Si

---

**Keywords:** Hydrogen, Polymer Complexes, Solvothermal.

Hydrogen is an alternative energy to replace fossil fuels. In addition to having a large energy capacity, the use of hydrogen as an alternative energy can also reduce air pollution caused by exhaust gases resulting from the use of fossil fuels. Materials that can be used as hydrogen storage are polymer complexes. One of the polymer complex materials that can be used is the Mn(II)-2-methyl imidazole polymer complex. Mn(II)-2-methyl imidazole was synthesized using the solvothermal method with various heating temperatures of 140°C and 150°C for 24 hours. The synthesized material was then characterized using X-ray diffraction (XRD) instruments, Fourier Transform Infra Red (FTIR), and Surface Area Analyzer (SAA).

Based on the XRD results, in product 1 which was synthesized at 140°C, a crystalline compound was formed which was suspected to be a polymer complex compound of Mn-2-methyl imidazole and on the diffraction pattern in product 2 which was synthesized at 150°C, other compounds were identified instead of the Mn-Imidazole complex. 2-methyl imidazole with the appearance of another peak at  $2\theta$  (o)= 19, 31, 39, and 46. The FTIR results of product 1 which was synthesized at 140°C and product 2 which was synthesized at 150°C formed a bond between ligand 2 -methyl imidazole with Mn metal at wave numbers are 583.58 cm<sup>-1</sup> and 596.17 cm<sup>-1</sup>, respectively. SAA data shows that the surface area and pore size of product 1 synthesized at a temperature of 140°C is 4.781 m<sup>2</sup>/g and 3.42 nm and product 2 which is synthesized at 150°C has a surface area of 15,172 m<sup>2</sup>/g and a pore size of 3 ,05 nm.



## ملخص البحث

حمدان،فائز. ٢٠٢١. **تخليق مركب منغان مع ليغان ميتيل إيميدازول ٢ باستخدام طرق صلفوتيرمل. بحث الجامعي.** قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: نور عيني، الماجستير، المشرفة الثاني: لولو الحمد عليا، الماجستير، المشرفة المشارك: رجموات ننعسيه، الماجستير.

**الكلمات الرئيسية:** الهيدروجين مركب بوليمر، صلفوتيرمل

الهيدروجين هو إحدى بديل للطاقة البديلة للوقود المستحاث. بصرف النظر عن امكان طاقة كبيرة، استخدام الهيدروجين كطاقة بديلة يمكن أن يقلل من تلوث الهواء الناجم عن غازي العادم الناتجة من استخدام الوقود المستحاث. المادة الاستخدام لتخزين الهيدروجين عن مركب بوليمر. إحدى المواد مركب بوليمر التي يمكن استخدامها هي مركب بوليمر منغان -٢- ميتيل إيميدازول باستخدام طريقة صلفوتيرمل مع تغير درجة حرارة التسخين ١٤٠ درجة مئوية و ١٥٠ درجة مئوية لمدة ٢٤ ساعة. ثم بعد ذلك توصيف المادة باستخدام أدوات XRD و FTIR و SAA.

بناءً على نتائج XRD مركب منغان -٢- ميتيل إيميدازول عند ١٤٠ درجة مئوية تكوين مستحضر بلوري جديد وحدد نمط حيود منغان -٢- ميتيل إيميدازول عند ١٥٠ درجة مئوية تعرف مرحلة الشوائب مع ظهور ذروة أخرى هي  $\theta = 19^\circ$  و  $31^\circ$  و  $39^\circ$  و  $46^\circ$ . نتائج FTIR لمركب منغان -٢- ميتيل إيميدازول المركب عند ١٤٠ درجة مئوية وعند ١٥٠ درجة مئوية رابطة بين ليغان -٢- ميتيل إيميدازول مع معدن منغان بأرقام موجية متتالية ٥, ٥٨٣ سم-١ و ٥٩٦, ١٧ سم-١. تدل بيانات SAA مساحة السطح وحجم المسام لمركب منغان -٢- ميتيل إيميدازول عند ١٤٠ درجة مئوية هي 4.781 متر مربع/جم و 3.42 نانومتر وعند ١٥٠ درجة مئوية لمساحة السطح ١٧٢, ١٥. متر مربع/جم وحجم المسام عند ٣,٠٥ نانومتر.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dan tak terpisahkan bagi kehidupan manusia. Kebutuhan akan energi di era modern ini semakin meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Hampir seluruh kebutuhan energi dunia berasal dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas alam. Sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tak terbarukan. Ketersediaannya di muka bumi dari tahun ke tahun semakin berkurang, sehingga dibutuhkan energi alternatif yang *sustainable* untuk menggantikan peran bahan bakar fosil (Yadav, 2015).

Allah Swt. berfirman dalam Al –Qur'an Surat Ali Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ.  
الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ  
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.*”

Buya Hamka dalam *Tafsir Al Azhar* menjelaskan dalam Surat Ali Imran ayat 190, Allah mengarahkan hamba-Nya untuk merenungkan alam, langit dan bumi. Dia mengarahkan agar hamba-Nya menggunakan pikirannya dan memperhatikan

pergantian antara siang dan malam. Semuanya itu penuh dengan tanda-tanda kebesaran Allah. Orang yang mampu memahami bahwa penciptaan langit dan bumi serta pergantian siang dan malam merupakan tanda-tanda kekuasaan Allah, mereka itulah *ulul albab*.

Menurut Ibnu Katsir, *ulul albab* mereka adalah orang yang memiliki akal sempurna lagi memiliki kecerdasan. Manusia diharapkan untuk senantiasa berfikir, menganalisis dan menafsirkan bahwa Allah Swt. menciptakan alam semesta dan segala sesuatu di dalamnya tidak ada yang sia-sia. Salah satu contoh ialah dengan mengeksplorasi berbagai sumber energi terbarukan untuk menggantikan bahan bakar fosil yang semakin menipis (Kholiq, 2015).

Hidrogen merupakan pilihan yang tepat sebagai bakar energi alternatif yang dapat diperbarui dan bebas emisi. Selain memiliki kapasitas energi yang besar, penggunaan hidrogen sebagai energi alternatif juga dapat mengurangi polusi udara yang disebabkan oleh gas buang hasil dari penggunaan bahan bakar fosil. Hidrogen mampu menghasilkan energi lebih tinggi sebesar 34,0 Kcal/g dibandingkan nilai petroleum yang menghasilkan energi dari 8,4 sampai 10,3 Kcal/g sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil (Jain, 2009).

Penyimpanan hidrogen pada suatu material berpori dilakukan melalui metode adsorpsi dengan proses fisisorpsi. dimana material berpori berperan sebagai adsorben dan gas hidrogen berperan sebagai adsorbat. Proses fisisorpsi merupakan mekanisme penyerapan molekul-molekul gas hidrogen pada permukaan material berpori yang terjadi secara reversible dengan kecepatan adsorp yang relatif besar. Pada proses tersebut, molekul hidrogen dapat dengan mudah teradsorb dan terlepas

secara berulang tanpa kehilangan energi dan umumnya tidak ada energi aktivasi yang terlibat pada proses adsorpsi hidrogen. Hal ini menyebabkan proses adsorpsi dan desorpsi hidrogen berlangsung dengan cepat. Kemudian setelah adsorben dengan adsorbat saling kontak, terjadi difusi pada permukaan adsorben (Hirscher, 2009).

Tahap berikutnya terjadi migrasi ke dalam pori adsorben yang dilanjutkan dengan adanya pembentukan monolayer adsorbat. Kapasitas adsorpsi material berpori dideskripsikan melalui isoterm adsorpsi. Kapasitas adsorpsi hidrogen ini menyatakan banyaknya hidrogen yang tersimpan setelah proses fisisorpsi berlangsung, dan dinyatakan dalam persen berat (% berat) ataupun dalam persen volume (%) (Hirscher, 2009). Beberapa material berpori yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan hidrogen adalah zeolit, karbon aktif, logam hidrida dan kompleks polimer (Suh, 2012). Material yang termasuk dalam kelompok kompleks polimer menunjukkan absorpsi  $H_2$  dalam jumlah besar yaitu sebesar 6,0 % dan 45 g/L (Dinca, 2006).

Kompleks polimer memiliki keistimewaan dibandingkan dengan material berpori lainnya yaitu strukturnya teratur, porositasnya tinggi, dan memiliki luas permukaan pori yang besar, sehingga dapat digunakan sebagai material penyimpan hidrogen (Cheng dkk, 2009). Material yang termasuk dalam kelompok kompleks polimer menunjukkan absorpsi  $H_2$  dalam jumlah besar yaitu sebesar 6,0 % dan 45 g/L (Dinca, 2006). Kompleks polimer dapat dirancang melalui koordinasi ion logam dan ligan multidentat yang disebut sebagai ligan jembatan (*bridging ligand*), dimana ligan anion yang mengandung atom nitrogen, oksigen dan sulfur biasa

digunakan sebagai ligan jembatan dalam *framework* melalui ikatan koordinasi (Robin, dkk. 2006).

Salah satu ligan yang dapat dirancang sebagai pembangun dari kompleks polimer adalah ligan dari turunan imidazol. Imidazol merupakan senyawa heterosiklik yang memiliki gugus aromatik dan mempunyai cincin lima planar dengan tiga atom C dan dua atom N pada posisi 1 dan 3. Salah satu logam yang dapat membentuk kompleks polimer dengan ligan turunan imidazol adalah logam Mangan (Mn) yang memiliki lima elektron tak berpasangan dan membuat senyawa kompleks mudah terbentuk karena terjadi ikatan kovalen koordinasi yang stabil antara atom N pada ligan turunan imidazol dengan ion logam Mn (II). Oleh karena itu logam mangan sangat sesuai digunakan pada sintesis kompleks polimer sebagai penyimpan hidrogen (Ma, 2012).

Berbagai penelitian untuk meningkatkan kapasitas penyimpan hidrogen pada kompleks polimer terus dikembangkan, salah satunya dengan memodifikasi ligan yang digunakan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Fery, 2015), bahwa pada logam Mn dengan perbandingan dua jenis ligan Mn(II)-2-metil imidazol yang memiliki kapasitas penyimpanan hidrogen lebih besar yaitu sebesar 0,6070 % wt dibandingkan pada Mn(II)-2,4,6-trifenil imidazol sebesar 0,4313 % wt. Hal ini disebabkan ligan 2-metil imidazol memiliki luas permukaan dan volume pori lebih besar dibandingkan Mn(II)-2,4,5-trifenil imidazol sehingga adsorpsi hidrogennya lebih besar karena kapasitas penyimpanan hidrogennya besar (Zhao, dkk. 2008).

Pemilihan parameter sintesis kompleks polimer juga penting dilakukan untuk memperoleh karakteristik material yang optimum. Beberapa parameter yang sering digunakan meliputi variasi pelarut, sumber logam, temperatur, dan waktu sintesis.

Lai, dkk. (2016) telah mensintesis kompleks polimer dari logam Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan variasi suhu 120°C dan 140°C dengan struktur kompleks yang dihasilkan adalah struktur dengan *framework* seperti zeolit. Luas permukaan kompleks polimer tersebut pada suhu 120°C adalah 690,75 m<sup>2</sup>/g dan volume pori sebesar 0,32 cm<sup>3</sup>/g. Sedangkan luas permukaan pada suhu 140°C adalah 975,55 m<sup>2</sup>/g dan volume pori sebesar 0,45 cm<sup>3</sup>/g. Pada penelitian lainnya, Venna, dkk (2010) berhasil mensintesis logam Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol pada suhu 150°C. Hasil penelitian ini memiliki luas permukaan kompleks polimer yaitu sebesar 1072 m<sup>2</sup>/g dan volume pori 0,53 cm<sup>3</sup>/g. Peningkatan suhu dapat menyebabkan adanya fase transisi untuk menghasilkan produk dengan komposisi berbeda dan luas permukaan pada senyawa kompleks yang lebih besar (Nguyen, dkk. 2012).

Sintesis kompleks polimer berdasarkan variasi waktu dan suhu oleh Chen (2019) dari logam Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol pada 110°C selama 30 jam, 120°C selama 30 jam, 130°C selama 24 jam dan 140°C selama 14 jam menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya suhu reaksi menyebabkan tingkat pertumbuhan kristal semakin stabil dengan ukuran partikel yang diperoleh secara bertahap meningkat dengan ukuran yaitu 1,5–3 µm (110°C), 4–6 µm (120°C), 6–8µm (130°C) dan 10-15µm (140°C).

Kelemahan kompleks polimer yang disintesis menggunakan logam Zn(II) sangat sensitif terhadap udara sehingga kemampuan adsorpsi hidrogennya semakin menurun ketika material kompleks polimer berinteraksi dengan udara. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi kelemahan kompleks polimer dari ion logam Zn(II) dengan mengganti ion logam yang digunakan (Suh, dkk. 2012).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Kadota, dkk. (2017) bahwa Zn (II) memiliki panjang ikatan lebih kecil yaitu sebesar 1,99 Å dibandingkan Mn (II) sebesar 2,06 Å yang berpengaruh terhadap luas permukaan pori yang dihasilkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa luas permukaan pori pada logam Mn(II) lebih tinggi 2690 m<sup>2</sup>/g dibandingkan logam Zn sebesar 2387 m<sup>2</sup>/g.

Penelitian mengenai sintesis dengan menggunakan logam mangan (Mn) dan ligan imidazol masih jarang dilakukan. Oleh karena itu penelitian ini akan disintesis logam Mn dengan ligan Mn(II)-2-metil imidazol dengan menggunakan metode solvothermal pada variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan senyawa kompleks polimer dengan luas permukaan yang optimal dan kapasitas penyimpanan hidrogen lebih besar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, diperoleh rumusan masalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap pembentukan kompleks polimer ion logam Mn(II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan metode solvothermal?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu terhadap luas permukaan, volume pori, serta diameter pori pada kompleks polimer kompleks polimer ion logam Mn(II) dengan ligan 2-metil imidazol?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pendahuluan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap pembentukan kompleks polimer ion logam Mn(II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan metode solvothermal.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu terhadap luas permukaan, volume pori, serta diameter pori pada kompleks polimer kompleks polimer ion logam Mn(II) dengan ligan 2-metil imidazol.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi suhu pemanasan yang digunakan adalah 140°C dan 150°C.
2. Metode yang digunakan adalah solvothermal.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian didapatnya informasi mengenai kompleks polimer sebagai material penyimpan hidrogen.



## BAB II

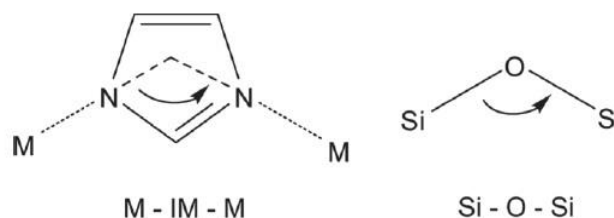
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kompleks Polimer sebagai Material Penyimpan Hidrogen

Senyawa koordinasi atau senyawa kompleks merupakan senyawa yang terbentuk melalui ikatan kovalen koordinasi antara atom pusat dengan ligan (suatu gugus pelindung). Ikatan kovalen koordinasi yang terjadi karena terdapat pasangan elektron dari salah satu atom donor yang digunakan bersama. Ikatan koordinasi bisa terdapat pada kation ataupun anion senyawa tersebut. Atom pusat berada di bagian tengah senyawa koordinasi, bertindak sebagai penerima pasangan elektron, sehingga dapat disebut sebagai asam Lewis, biasanya berupa logam (terutama logam-logam transisi). Ligan atau gugus pelindung merupakan bagian dari senyawa koordinasi yang berada di bagian luar sebagai pendonor pasangan elektron, sehingga dapat disebut sebagai basa Lewis (Chang, 2004).

Polimer koordinasi atau yang biasa disebut dengan *Metal Organic Frameworks* (MOFs) merupakan material berpori yang tersusun atas senyawa penghubung organik berupa ligan bidentat dan polidentat yang berikatan dengan unit anorganik berupa klaster logam-oksida maupun kation logam yang berperan sebagai *secondary building unit* (SBU) membentuk struktur/jaringan tak terbatas. Secara umum, kompleks polimer terbentuk melalui penggunaan ion logam transisi sebagai titik pusat dan ligan organik multidentat yang mengandung donor O- atau N- sebagai penghubung (Huo, 2011). Kompleks polimer memiliki karakteristik menarik seperti volume besar, ukuran pori besar, kristalinitas tinggi dan kerapatan relatif rendah (Nordin, dkk. 2014).

*Zeolitic Imidazolate Framework* (ZIF) adalah material kristalin yang berpori dengan struktur tiga dimensi dari ion logam dan ligan organik yang berbentuk tetrahedral dengan jembatan imidazol (Phan, dkk. 2010). Material *Zeolitic Imidazolate Framework* (ZIF) adalah subkelas baru dari MOF *Metal Organic Frameworks* (MOFs). ZIF memiliki struktur kristal yang sama dengan zeolit, keduanya memiliki persamaan yaitu, pada ZIF jembatan dari fragmen logam-imidazol-logam (M-Im-M), sedangkan pada zeolit Si-O-Si yang memiliki sudut ikatan  $140^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Choi, dkk. 2014). ZIF dan zeolit juga memiliki sifat yang sama, yaitu memiliki kristalinitas yang baik, mikroporositas yang baik, luas permukaan yang besar, stabilitas kimia dan stabilitas termal yang baik (Venna, dkk. 2010).



Gambar 2.1 Sudut ikatan dalam logam dengan Imidazol dan Zeolit (Park, dkk. 2006).

Material berpori yang dikembangkan sebagai material penyimpan hidrogen melalui proses fisisorpsi antara lain zeolit, karbon, dan kompleks polimer. Zeolit merupakan material yang luas permukaannya kecil dengan luas permukaan  $430 \text{ m}^2/\text{g}$  dan bisa mengadsorpsi hidrogen sebesar 0,7%, sedangkan karbon merupakan material yang luas permukaannya besar yaitu mencapai  $2030 \text{ m}^2/\text{g}$  namun distribusi

ukuran porinya kurang merata dengan mengadsorpsi hidrogen hingga 2,1%. Sifat ini kurang sesuai jika diaplikasikan sebagai material penyimpanan hidrogen. Kompleks polimer memiliki luas permukaan yang besar yaitu 1079 m<sup>2</sup>/g dan bisa mengadsorpsi hidrogen hingga 4,7% (Sculley, dkk. 2011).

Logam transisi banyak digunakan sebagai atom pusat karena memiliki orbital d yang elektronnya tidak terisi penuh, sehingga logam transisi cenderung untuk membentuk ion kompleks. Sementara itu, ligan dalam berikatan dengan ion pusat (logam) tergantung pada jumlah pasangan elektron bebas yang didonorkan pada ion pusat (logam). Ligan yang hanya mendonorkan sepasang elektron bebas disebut ligan monodentat, seperti H<sub>2</sub>O dan NH<sub>3</sub>, sedangkan ligan yang mendonorkan dua pasang elektron bebas disebut ligan bidentat, seperti etilendiamin, (Chang, 2002).

Material kompleks polimer umumnya memiliki volume pori pada kisaran 0,2 hingga 0,8 cm<sup>3</sup>/g, namun pada beberapa kompleks polimer volume porinya dapat mencapai 1,1 cm<sup>3</sup>/g (Rowell, dkk, 2004). Menurut penelitian Dinca, dkk. (2006) penyerapan molekul hidrogen pada kompleks polimer terletak pada ion logam dan ligan. Hal ini menyebabkan pemilihan logam dan ligan penting dilakukan untuk mendapatkan kompleks polimer yang sesuai sebagai penyimpanan hidrogen. Ligan yang sering digunakan pada sintesis kompleks polimer sebagai penyimpanan hidrogen antara lain: ligan yang mengandung gugus karboksilat (Saha, dkk. 2009) dan imidazol (Phan, dkk. 2009).

### **2.1.1 Kompleks Polimer dengan Senyawa Logam Mangan (Mn (II))**

Berbagai sumber logam telah digunakan dalam sintesis kompleks polimer sebagai material penyimpanan hidrogen, seperti Seng (Zn), tembaga (Cu), Mangan

(Mn), Kobalt (Co), Krom (Cr), Nikel (Ni), lantanida logam, dan logam alkali (Suh, 2015). Kadota, dkk. (2017) menyebutkan bahwa jari-jari ion logam  $Mn^{2+}$  yaitu sebesar 0,66 Å lebih besar dibandingkan jari-jari  $Zn^{2+}$  sebesar 0,60 Å. Jari-jari ion yang lebih besar berdampak terhadap parameter sel yang terbentuk juga semakin besar. Sehingga Mn memiliki ruang penyimpanan hidrogen yang lebih besar dibandingkan dengan Zn dan sangat cocok digunakan pada sintesis kompleks polimer sebagai material penyimpan hidrogen.

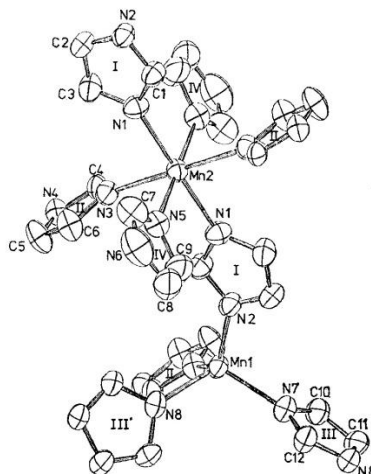
Karakteristik logam yang digunakan juga berpengaruh terhadap luas permukaan pada material penyimpan hidrogen. Seperti yang ditunjukkan oleh penelitian Kadota, dkk. (2017) pada Tabel 2.1 bahwa kompleks polimer dengan logam yang berbeda memiliki kapasitas volume pori dan luas permukaan yang berbeda. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa logam Mn memiliki volume pori dan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan logam Zn.

Tabel 2.1 Perbandingan Volume Pori dan Luas Permukaan pada Material Penyimpan Hidrogen

Senyawa kompleks	Volume pori (cm <sup>3</sup> g)	Luas Permukaan (Å <sup>3</sup> )
<b>Mn (2-metilimidazol)</b>	0,7107	2690
<b>Zn (2-metil imidazol)</b>	0,6257	2387

Mangan merupakan salah satu logam transisi pada deret pertama dengan nomor atom 25 dan massa atom relatif (Ar) sebesar 54,94 gram/mol (Lee, 1991). Mangan memiliki konfigurasi elektronik  $[18Ar] 3d^5 4s^2$  dengan ion yang umum yaitu  $Mn^{2+}$  dan tingkat oksidasi +2, +3, +4, +6, dan +7 (Sugiyarto, 2012). Mn (II) memiliki lima elektron yang tidak berpasangan sehingga dapat membentuk channel yang stabil serta kerangka polimer koordinasi yang dihasilkan berpori dan besar

(Ma, dkk. 2012). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, kompleks Mangan menggunakan *Single Crystal X-ray Diffraction* membentuk struktur tetrahedral dari empat cincin imidazol I, II, III, dan III' yang dihubungkan oleh ligan jembatan dari imidazol (I) membentuk struktur oktahedral (Lehnert, dkk. 1980) :



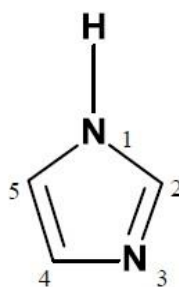
Gambar 2.2 Komplek Mangan dengan ligan imidazol (Lehnert, dkk. 1980).

### 2.1.2 Kompleks Polimer dengan Ligan 2-Metil Imidazol

Ligan adalah suatu ion atau molekul yang memiliki sepasang elektron atau lebih yang dapat disumbangkan. Ligan merupakan basa lewis yang dapat terkoordinasi pada ion logam atau sebagai asam lewis membentuk senyawa kompleks. Ligan dapat berupa anion atau molekul netral (Cotton, dkk. 1984). Jika suatu logam transisi berikatan secara kovalen koordinasi dengan satu atau lebih ligan maka akan membentuk suatu senyawa kompleks, dimana logam transisi tersebut berfungsi sebagai atom pusat. Logam transisi memiliki orbital *d* yang belum terisi penuh yang bersifat asam lewis yang dapat menerima pasangan elektron bebas yang bersifat basa lewis. Ligan yang mengandung donor N dan O

sering digunakan pada sintesis kompleks polimer sebagai penyimpan hidrogen seperti ligan imidazol (Nguyen, dkk. 2012).

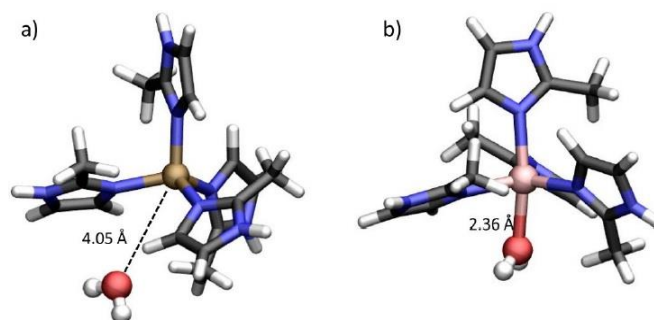
Imidazol (1,3-diaza-2,4-siklopentadiena) merupakan senyawa organik yang mempunyai cincin lima planar dengan tiga atom C dan dua atom N pada posisi 1 dan 3. Nama sistemik dari senyawa imidazol adalah 1,3-diazol, pada salah satu atom N mengikat atom H dan dapat dianggap sebagai pirol tipe N seperti pada Gambar 2.2. Imidazol memiliki dua tautomer bentuk ekivalen karena atom hidrogen dapat diletakkan pada salah satu dari dua atom nitrogen (Huang, dkk. 2008).



Gambar 2.3 Struktur dasar Ligan Imidazol (Huang, dkk. 2008).

Salah satu jenis ligan imidazol yang sering digunakan pada sintesis kompleks polimer sebagai penyimpan hidrogen adalah metil imidazol (Phan, dkk. 2009). Katoda, dkk., (2017) telah mensintesis kompleks polimer dari logam mangan (Mn) dan logam seng (Zn) dengan ligan 2-metil imidazol (mIm). Optimasi struktur juga dilakukan dengan perhitungan DFT (*Density Functional Theory*) dan didapatkan struktur teroptimasi pada Gambar 2.3. Pada struktur teroptimasi ikatan antara pusat logam dan molekul air terbentuk pada kompleks  $[\text{Mn}(\text{mImH})_4\text{H}_2\text{O}]^{2+}$  dengan

geometri trigonal bipiramida. Sedangkan pada kompleks  $[\text{Zn}(\text{mImH})_4]^{2+}$  tidak terjadi ikatan antara logam dengan molekul air sebagai ligan tambahan dengan geometri tetrahedral.



Gambar 2.4. Struktur geometri (a).  $[\text{Zn}(\text{mImH})_4]^{2+}$  dan (b).  $\text{Mn}(\text{mImH})_4\text{H}_2\text{O}]^{2+}$  (Katoda, dkk. 2017).

## 2.2 Sintesis kompleks Polimer dengan Metode Solvothermal

Sintesis solvothermal adalah metode untuk menyiapkan berbagai bahan seperti logam, semikonduktor, keramik, dan polimer. Proses ini melibatkan penggunaan pelarut di bawah tekanan sedang hingga tinggi (biasanya antara 1 atm dan 10.000 atm) dan suhu (biasanya antara 100°C dan 1000°C) yang memfasilitasi interaksi prekursor selama sintesis. Proses pelarutan dan pertumbuhan kristalnya dilakukan dalam bejana tertentu yang disebut autoklaf, yaitu berupa suatu wadah terbuat dari baja yang tahan pada suhu dan tekanan tinggi. Pertumbuhan kristal terjadi karena adanya gradien suhu yang diatur sedemikian rupa sehingga pada bagian yang lebih panas akan terjadi reaksi larutan, sedangkan pada bagian yang lebih dingin terjadi proses supersaturasi dan pengendapan kristal (Agustinus, 2009).

Telah dilaporkan oleh Pan (2011) bahwa Sintesis logam Zn dengan ligan imidazol (ZIF-8) dengan menggunakan metode hidrotermal masih memiliki kekurangan karena perbandingan molar sangat besar yaitu 1:70 yang menyebabkan laju pembentukan kristal berjalan sangat lambat dan membutuhkan waktu yang lebih panjang. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Nguyen (2012) menggunakan metode solvothermal hanya menggunakan perbandingan molar 1:1 antara logam Zn dengan ligan imidazol. Hal ini dikarenakan dalam sintesis solvothermal, pelarut organik tidak hanya menyediakan media reaksi, namun juga dapat melarutkan reaktan membentuk kompleks pelarut-reaktan, yang akan mempengaruhi kecepatan reaksi kimia. Pelarut organik juga dapat mempengaruhi konsentrasi dan keadaan spesi aktif reaktan, yang akhirnya dapat mengubah proses reaksi. Oleh karena itu Berdasarkan data perbandingan molaritas dan laju pembentukan kristal, metode solvothermal dinilai memiliki nilai ekonomis yang lebih besar (Sulistiyo, 2015).

Sintesis solvothermal menggunakan pelarut N,N-dimetilformamida (DMF) atau dietil formamida (DEF) merupakan suatu metode yang efektif untuk mendapatkan kristal dari kompleks polimer yang berkualitas baik dengan ligan tipe karboksilat dan imidazolat. DMF dan DEF mudah mengalami hidrolisis di udara, membentuk asam format dan  $\text{HNR}_2$  ( $\text{R} = \text{Metil dan Etil}$ ). Amina yang terbentuk dapat meningkatkan deprotonasi asam karboksilat dan imidazol, serta menyebabkan karboksilat dan imidazolat memiliki kemampuan untuk menjembatani logam pusat (Noro, 2013).

Metode sintesis yang tepat diharapkan akan menghasilkan material kompleks polimer yang nantinya akan memberikan pengaruh besar terhadap sifat material



tersebut. Telah di laporkan oleh (Mulyati, dkk. 2015) bahwa kompleks polimer yang disintesis dengan menggunakan metode solvothermal menghasilkan senyawa kompleks dengan kristalinitas tinggi, luas permukaan besar, kemurnian tinggi, dan distribusi ukuran pori teratur dibandingkan dengan menggunakan metode sonokimia dan metode gelombang mikro.

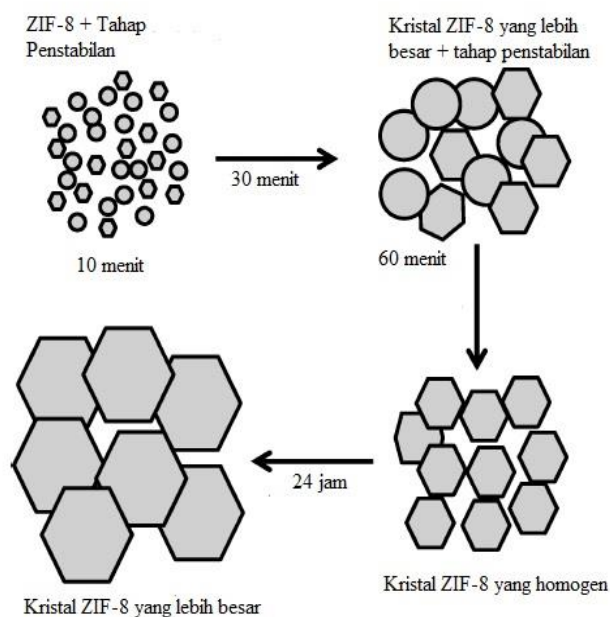
Hasil dari sintesis kompleks polimer secara solvothermal juga dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain suhu reaksi, waktu reaksi, rasio logam / ligan, komposisi pelarut dan pH larutan. Biasanya pada sintesis kompleks polimer mulai terbentuk sebuah produk diatas suhu 100 – 150°C (Mulyati, dkk. 2015). Hal ini menunjukkan bahwa suhu sangat berpengaruh terhadap karakteristik kemurnian kompleks polimer yang dihasilkan.

Kompleks polimer yang disintesis dari ligan berbasis imidazol biasanya dilakukan pada suhu 140°C dan 150°C (Venna, dkk. 2010). Selain dipengaruhi oleh suhu, terbentuknya kompleks polimer juga dipengaruhi oleh waktu sintesis. Hal ini diperkuat oleh penelitian Venna dkk, (2010) menunjukkan perubahan struktur Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) yang terus meningkat dengan peningkatan waktu. Berdasarkan Tabel 2.2 bahwa seiring bertambahnya waktu sintesis menyebabkan tingkat kristanilitas semakin tinggi dan luas permukaan pori semakin besar.

Tabel 2.2 Variasi Waktu Sintesis Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) (Venna, dkk. 2010).

<b>Waktu Sintesis (menit)</b>	<b>Kristanilitas (%)</b>	<b>Luas Permukaan (m<sup>2</sup>/g)</b>
20	5,22	180
30	18,88	193
40	77,65	489
50	92,41	613
60	92,37	744
720	90,64	814
1440	100	798

Menurut Sculley, dkk. (2011) kapasitas penyimpanan hidrogen berbanding lurus dengan luas permukaan dan volume pori. Jika luas permukaan dan volume pori besar maka kapasitas penyimpanan hidrogen besar. Sedangkan diameter pori berbanding terbalik dengan kapasitas penyimpanan hidrogen. Hal ini disebabkan adanya interaksi material dengan hidrogen terjadi secara kuat dengan dinding pori karena afinitas terhadap hidrogen besar sehingga kapasitas penyimpanan hidrogennya besar. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat juga bahwa kondisi optimum sintesis kompleks polimer Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) secara solvothermal selama 24 jam diperoleh ukuran kristal yang lebih besar.



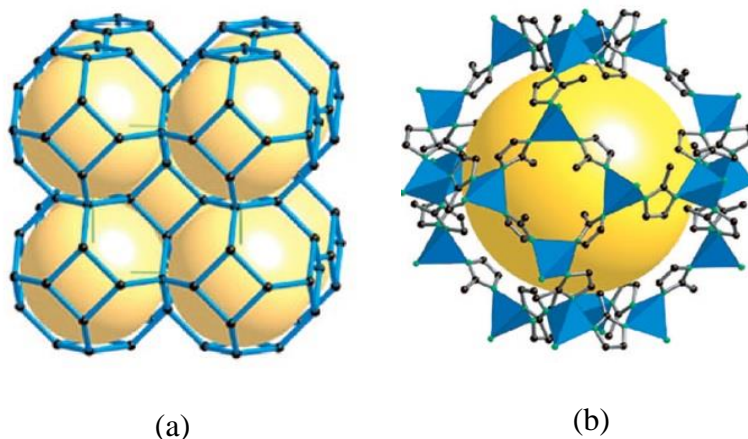
Gambar 2.5. Tahap pembentukan kristal Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) sebagai fungsi waktu (Venna, dkk.2010).

### 2.3 Karakteristik Struktur Material Kompleks Polimer dengan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Difraksi sinar-X kristal tunggal (*Single Crystal X-ray Diffraction*) adalah sebuah teknik analisis non-destruktif yang memberikan informasi secara rinci tentang kisi kristal termasuk dimensi sel satuan, posisi dari struktur atomik dalam sebuah molekul yang memberikan informasi mengenai panjang dan sudut ikatan. Difraksi sinar kristal tunggal merupakan metode analisis paling populer untuk melihat struktur molekul tiga dimensi secara kuantitatif (Hasegawa, 2012).

Park dkk. (2006) telah mensintesis kompleks polimer (Gambar 2.5) dari logam seng (Zn) dan ligan 2-metil imidazol (mIm) dengan menggunakan *Single Crystal X-ray Diffraction* yang menghasilkan *framework* tiga dimensi. Kompleks polimer tersebut memiliki rongga bola besar dengan diameter pori 11,60 Å dan

memiliki bentuk topologi sodalit (SOD). Atom logam pada Zn memiliki densitas sebesar  $2,47 \text{ nm}^{-3}$ .



Gambar 2.6 (a) Kerangka Sodalit ZIF-8 (SOD) dan (b) Unit Satuan ZIF-8 Kompleks Polimer dari Logam Zn dan Ligan 2-metil imidazol : biru (Zn), kuning (unit sel), dan hitam (2-metil imidazol) (Park, dkk. 2006).

Kelebihan dari *Single Crystal X-ray Diffraction* dibandingkan dengan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) yaitu dapat digunakan untuk menentukan posisi spasial atom dalam molekul yang memberikan informasi mengenai jarak ikatan serta sudut ikatan dan mengambarkannya dalam bentuk struktur 3 dimensi (QingQin, 2012). Namun karakterisasi menggunakan *Single Crystal X-ray Diffraction* membutuhkan biaya yang cukup mahal. Oleh karena itu itu dalam penelitian ini digunakan *X-Ray Diffraction* bubuk(XRD) sebagai alternatif.

*X-Ray Diffraction* bubuk (XRD) merupakan suatu teknik analisa yang digunakan untuk menentukan unsur dan senyawa kimia, struktur kristal, parameter kisi, volume kisi dan lain-lain. (Smallman, 2000). Data yang diperoleh dari metode karakterisasi XRD adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Berdasarkan teori difraksi, sudut difraksi bergantung kepada lebar celah kisi

sehingga mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung dari berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama (Tipler, 1991).

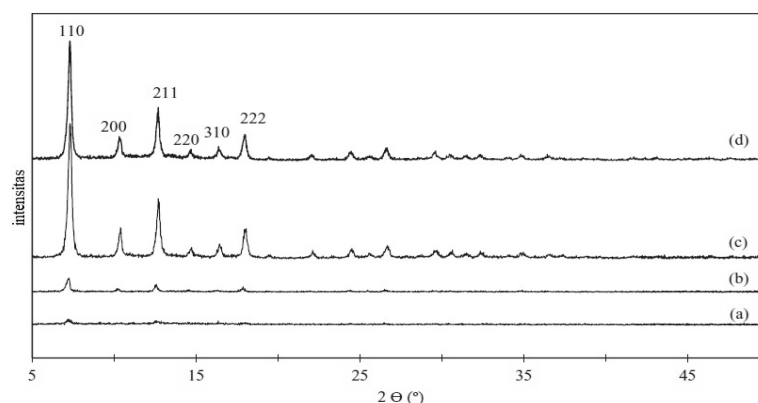
Difraksi sinar-X ini hanya akan terjadi pada sudut kristal tertentu dengan pola difraksi yang tertentu juga. Pengukuran secara kuantitatif relatif dapat dilakukan dengan membandingkan jumlah tinggi puncak pada sudut-sudut tertentu dengan jumlah tinggi puncak pada sampel standar (Cullity, 2001). Berdasarkan persamaan Bragg yaitu nilai dua kali sudut difraksi ( $2\theta$ ) berbanding terbalik dengan nilai jarak antar kisinya ( $d$ ) dalam kristal tersebut. Sesuai dengan persamaan 2.1 (Cullity, 2001):

$$n \cdot \lambda = 2d_{hkl} \cdot \sin \theta \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

- $d$  = jarak antarkisi
- $\theta$  = sudut pengukuran (sudut difraksi)
- $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Lai (2016) yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 bahwa semua sampel menunjukkan puncak karakteristik Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8). Intensitas puncak ZIF-8 meningkat seiring bertambahnya suhu sintesis. Kristalinitas berdasarkan bidang (110) untuk ZIF-8 yang disintesis di bawah 80°C dan 100°C relatif lebih kecil dibandingkan dengan ZIF-8 yang disintesis pada 120°C dan 140°C. Hasil ini menunjukkan bahwa pembentukan Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) diperlukan suhu tinggi yaitu sekitar suhu 120°C dan 140°C.



Gambar 2.7 Pola Difraksi Sinar X Senyawa yang Zn (II) dengan ligan 2-metil imidazol (ZIF-8) disintesis pada suhu (a) 80°C; (B) 100°C; (c) 120°C dan (d) 140°C (Lai, 2016).

#### 2.4 Karakteristik Gugus Fungsi Kompleks Polimer dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

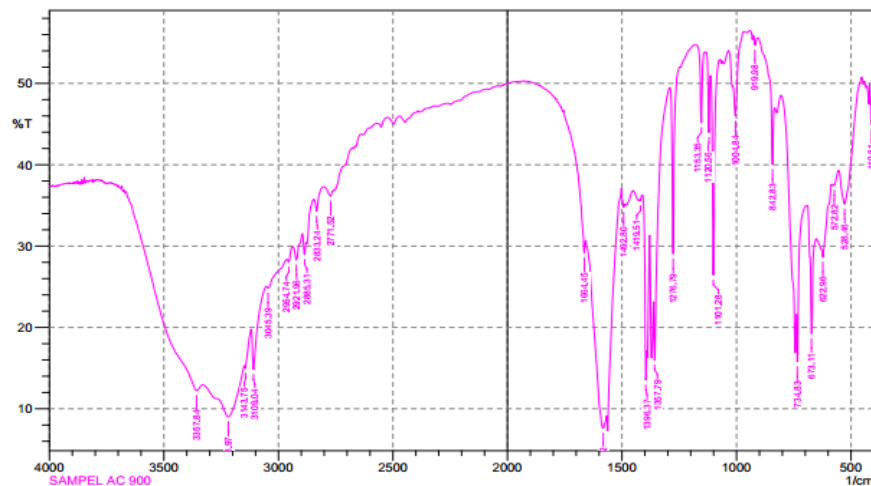
Fourier Transform Infra Red (FTIR) adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau Raman Scattering dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindrayawati, dkk. 2010).

Prinsip kerja FTIR berupa *infrared* yang melewati celah kesampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer (Thermo, 2001). Perekaman

spektrum inframerah dilakukan pada daerah inframerah yaitu dari panjang gelombang 0,00078-1 nm. Spektrum ini menunjukkan banyak puncak absorpsi pada frekuensi yang karakteristik (Fessenden, 1986).

Serapan pada kompleks polimer terjadi di daerah  $3500\text{-}200\text{ cm}^{-1}$  terutama disebabkan oleh vibrasi yang mungkin terjadi dalam ligan yang terkoordinasi. Informasi mengenai struktur dan ikatan untuk vibrasi logam dengan ligan berada pada bilangan gelombang antara  $600\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ . Dari spektrum inframerah akan diperoleh informasi mengenai pergeseran frekuensi getaran yang diakibatkan oleh kompleksasi ligan, dan ada tidaknya pita-pita inframerah tertentu sering digunakan untuk mengetahui informasi struktural suatu senyawa (Paramitha, 2012).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Pujiono (2015) yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 menggunakan FTIR menunjukkan puncak melebar pada bilangan gelombang  $3218,97\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus OH yang terikat pada logam Mn yang menunjukkan adanya air yang terkoordinasi sebagai ligan. Puncak pada daerah  $1581,82\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi gugus C=N pada 2-metil imidazole yang terkoordinasi dengan Mn(II) dan puncak pada daerah  $1396,37\text{ cm}^{-1}$  merupakan adanya ikatan C=C aromatik. Puncak pada daerah  $1101,28\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi ulur C-N. Puncak pada daerah  $734,83\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi Tekuk C-H. Puncak pada daerah  $528,45\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan Mn-N akibat terjadinya reaksi antara ligan 2-metil imidazol dengan logam Mn.



Gambar 2.8. Hasil FTIR kompleks Mn-2-metylimidazol (Pujiono, 2015).

## 2.5 Karakteristik Luas Permukaan, Volume Pori, dan Diameter Pori dengan *Surface Area Analyzer* (SAA)

*Surface Area Analyzer* (SAA) merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material. Alat ini khususnya berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu bahan (Gregg, dkk. 1982). SAA (*Surface Area Analyzer*) berkerja berdasarkan metode BET. Metode BET merupakan metode yang digunakan untuk menentukan luas permukaan padatan yang dikembangkan oleh Brunauer-Emmett-Teller (metode BET). Prinsip pengukuran dengan metode BET adalah dengan cara adsorpsi fisis gas (Gregg, dkk. 1982).

Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses lapisan dengan lapisan (*Layer-by-layer*), permukaan secara energetik dianggap homogen, medan adsorpsi sama dalam setiap tempat permukaan. Proses adsorpsi dianggap tidak bergerak (setiap molekul yang diadsorpsi pada sisi dasar adsorpsi pada permukaan). Lapisan pertama molekul yang diadsorpsi memiliki energi interaksi dengan medan adsorpsi



dan interaksi vertikal antara molekul setelah lapisan pertama sama terhadap panasorbat dan molekul yang diadsorpsi tidak berinteraksi secara menyamping (Roque-Malherbe, 2007). Luas permukaan ( $S_t$ ) BET dapat diperoleh melalui persamaan 2.2 (Lowell, 1984) :

$$S_t = \frac{W_m}{M} \cdot N \cdot A_{cs} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

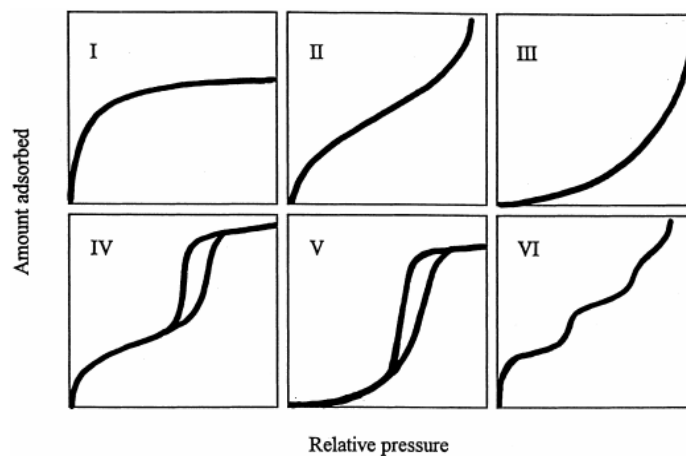
$N$  = bilangan Avogadro ( $6.0225 \times 10^{23}$  molekul/mol)

$W_m$  = berat gas nitrogen (g)

$M$  = massa molekul (g/mol)

$A_{cs}$  = Molecular cross section area ( $16.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ )

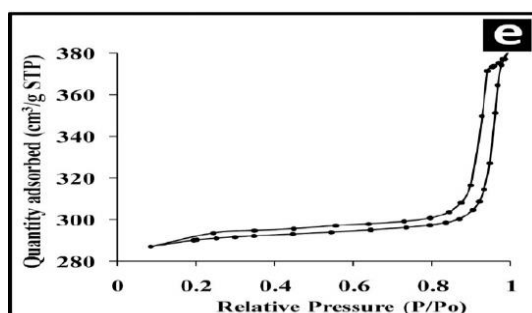
Luas permukaan dan porositas merupakan karakteristik yang sangat penting pada berbagai material. Penentuan dari isotherm adsorpsi dan desorpsi merupakan variabel yang sangat penting untuk menentukan struktur pori dan metode BET digunakan untuk menentukan total luas permukaan (Brown, 2003). Menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), terdapat enam klasifikasi isotherm adsorpsi seperti yang diperlihatkan Gambar 2.9:



Gambar 2.9 Tipe Grafik Isotherm Adsorpsi Berdasarkan IUPAC (*International Union Of Pure and Applied Chemistry*).

- a. Tipe I: Tipe ini khas untuk terjadi untuk fisisorpsi gas pada padatan mikropori.
- b. Tipe II: Tipe ini biasanya terlihat dari adsorpsi pada padatan non pori.
- c. Tipe III: Grafik ini khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik.
- d. Tipe IV: Grafik Tipe IV ini memperlihatkan loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam material mesopori.
- e. Tipe V: Grafik ini juga khas untuk uap seperti halnya Tipe III, tetapi terlihat adanya loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori.
- f. Tipe VI: Grafik isothermal seperti anak tangga, biasanya terlihat untuk adsorpsi nitrogen pada karbon tertentu.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Venna (2009) menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 merupakan adsorpsi-desorpsi nitrogen material kompleks polimer yang disintesis dari logam Zn dan ligan 2-metil imidazol menghasilkan isoterm adsorpsi tipe IV yaitu tipe khas dari material mesopori. Kompleks polimer ini memiliki luas permukaan sebesar 1072 m<sup>2</sup>/g dan volume pori sebesar 0,53 cm<sup>3</sup>/g.



Gambar 2.10 Contoh adsorpsi-desorpsi nitrogen material kompleks polimer yang disintesis dari logam Zn dan ligan 2-metil imidazol (Venna, 2009).

## 2.6 Pandangan Islam tentang Senyawa Kompleks Polimer Mn(II)-2-metilimidazol sebagai Material Penyimpan Hidrogen

Islam sebagai agama *rahmatan lil-'alamin* sangat memperhatikan penyelamatan dan pemeliharaan lingkungan serta melarang berbuat kerusakan di muka bumi ini yang akibatnya bisa fatal bagi kehidupan manusia itu sendiri. Salah satu contoh sederhana misalnya dengan tidak mematikan listrik ketika tidak menggunakannya (*mubazir*). Hal ini juga berdampak terhadap berkurangnya sumber energi yang saat ini masih menggunakan minyak bumi sebagai bahan baku utama. Sebagaimana telah dijelaskan di dalam Al-Qur'an pada Surat Al-A'raf ayat 56 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ  
مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan.”

Ismail bin Umar Al-Quraisy bin Katsir Al-Bashri Ad-Dimasyqi dalam tafsir Ibnu Katsir menafsirkan Surat Surat Al-A'raf ayat 56 dimana Allah *subhanahu wa ta'ala* melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dan hal-hal yang membahayakan kelestariannya sesudah diperbaiki. Bumi ini sudah diciptakan Allah dengan segala kelengkapannya, seperti gunung, lembah, sungai, lautan, daratan, hutan dan lain-lain, yang semuanya ditujukan untuk keperluan manusia, agar dapat diolah dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya untuk kesejahteraan mereka. Oleh karena itu, manusia dilarang membuat kerusakan di muka bumi (Kemenag RI, 2011).

Hingga saat ini sumber energi minyak bumi masih menjadi sumber energi utama di dalam penggunaannya terutama dalam bidang kelistrikan, industri dan transportasi. Pencarian akan sumber energi terbarukan merupakan sebuah cara yang dilakukan oleh manusia akibat menipisnya bahan bakar fosil yang berimbas pada krisis energi. Energi terbarukan merupakan energi yang bersumber dari alam dan secara berkelanjutan dapat terus diproduksi secara terus-menerus. Hidrogen merupakan salah satu energi alternatif dan menjadi pilihan yang tepat, karena ramah lingkungan dan dapat diperbaharui.

Salah satu material yang dapat digunakan sebagai penyimpan hidrogen ialah dari senyawa kompleks. Senyawa kompleks merupakan senyawa yang tersusun atas atom pusat atau logam dengan ligan yang mengelilinginya membentuk molekul netral atau ion dengan ikatan kovalen koordinasi (Farianti, 2000). Senyawa kompleks dari logam mangan dengan ligan 2-metil imidazol dapat digunakan sebagai material penyimpan hidrogen. Hasil penelitian yang dilakukan Pujiono (2015) terhadap logam mangan dengan ligan 2-metil imidazol menghasilkan kapasitas penyimpanan hidrogen sebesar 0.6070 % wt.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari - Juli 2020 di Laboratorium Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pengambilan data Difraksi Sinar-X (XRD) di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), data FTIR di Laboratorium UV-Vis dan FTIR Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang dan pengambilan data SAA di Laboratorium Tepadu Universitas Diponegoro Semarang.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: gelas arloji, spatula, aluminium foil, neraca analitik, *mortar agate*, *hotplate*, magnetik stirer, oven, gelas ukur 50 mL, beaker gelas, erlenmeyer 100 mL, Difraksi Sinar-X (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). *Scanning Elektron Microscope* (SEM -Zeiss, EVO MA10), dan *Surface Area Analyzer* (Micromeritic Quantachrome).

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian adalah mangan klorida tetrahidrat ( $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (Merck 99,0%), 2-metil imidazol (MeIm, Sigma-Aldrich,

99,0%), *N,N*-dimetil formamida (DMF, Merck, 99,8%), dan Metanol (Sigma-Aldrich 98%).

### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah sintesis kompleks polimer mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan metode solvothermal dengan prekursor mangan klorida tetrahidrat, 2-metil imidazol, dan *N,N*-dimetil formamida dengan menggunakan variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C selama 24 jam. Hasil sintesis untuk mengetahui struktur material kompleks polimer menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD), untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada kompleks polimer menggunakan spektroskopi FTIR, dan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, diameter total, dan distribusi ukuran pori digunakan SAA.

### 3.4 Tahap Penelitian

1. Sintesis kompleks polimer Mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan metode solvothermal dengan menggunakan variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C.
2. Uji karakterisasi struktur material kompleks polimer menggunakan XRD.
3. Uji karakterisasi untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada kompleks polimer menggunakan spektroskopi FTIR.
4. Uji karakterisasi untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, ukuran pori, diameter total, dan distribusi ukuran pori digunakan SAA.

### 3.5 Prosedur Kerja

#### 3.5.1 Sintesis Kompleks Polimer Mn(II)-2-metil imidazol (140°C)

Proses sintesis diawali dengan melarutkan padatan Mn(II) yang berasal dari  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (1,970 gram; 10 mmol) dengan pelarut *N,N*-dimetil formamida (DMF) sebanyak 15 mL menggunakan erlenmeyer 100 mL. Selanjutnya ligan yang berasal 2-metil imidazol (0,820 gram; 10 mmol) dilarutkan dengan 15 mL *N,N*-dimetil formamida (DMF) menggunakan erlenmeyer 100 mL. Kedua larutan tersebut dicampurkan dan diaduk dengan magnetik stirer selama 60 menit pada temperatur ruang, kemudian direaksikan secara solvothermal pada suhu 140°C selama 24 jam. Campuran hasil sintesis didiamkan selama 48 jam. Selanjutnya endapan dan filtrat disaring dan dipisahkan. Endapan yang dihasilkan dicuci dengan DMF. Endapan hasil pencucian DMF sebanyak 30 ml, selanjutnya dicuci dengan metanol sebanyak 30 ml. Endapan yang telah dicuci dengan metanol kemudian dikeringkan di oven pada temperatur 65°C selama 24 jam. Hasil sintesis akan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SAA.

#### 3.5.2 Sintesis Kompleks Polimer Mn(II)-2-metil imidazol (150°C)

Proses sintesis diawali dengan melarutkan padatan Mn(II) yang berasal dari  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (1,970 gram; 10 mmol) dengan pelarut *N,N*-dimetil formamida (DMF) sebanyak 15 mL menggunakan erlenmeyer 100 mL. Selanjutnya ligan yang berasal 2-metil imidazol (0,820 gram; 10 mmol) dilarutkan dengan 15 mL *N,N*-dimetil formamida (DMF) menggunakan erlenmeyer 100 mL. Kedua larutan tersebut dicampurkan dan diaduk dengan magnetik stirer selama 60 menit pada temperatur ruang, kemudian direaksikan secara solvothermal pada suhu 150°C

selama 24 jam. Campuran hasil sintesis didiamkan selama 2 jam. Selanjutnya endapan dan filtrat disaring dan dipisahkan. Endapan yang dihasilkan dicuci dengan DMF. Endapan hasil pencucian DMF sebanyak 30 ml, selanjutnya dicuci dengan metanol sebanyak 30 ml. Endapan yang telah dicuci dengan metanol kemudian dikeringkan di oven pada temperatur 65°C selama 24 jam. Hasil sintesis akan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SAA.

### 3.5.3 Karakterisasi dan Analisis Data Menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi fasa, struktur, derajat kristanilitas sampel, dan menganalisa hasil produk sintesis. Pengukuran dilakukan pada suhu kamar menggunakan X-ray diffractometer (XRD) dengan radiasi Cu K $\alpha$  pada 40 kV dan 300 mA. Rentang yang digunakan adalah  $2\theta = 20^\circ$ – $65^\circ$  dengan langkah  $2\theta = 0,05^\circ$  dan 1 detik / langkah.

Data yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan XRD adalah difraktogram yang mana akan dibandingkan dengan data standar *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD). Pengolahan data yang diperoleh akan direfinement dengan program Rietica dan metode *Le Bail* yang terdapat pada database *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) yang bertujuan untuk mengidentifikasi data kristalografi. Selain itu dari data difraksi sinar-X juga dapat menunjukkan kristalinitas dan kemurnian senyawahasil sintesis.



### 3.5.4 Karakterisasi dan Analisis Data Menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Analisis spektroskopi inframerah dilakukan menggunakan alat spektrofotometer inframerah merek Shimadzu IR 8400S. Langkah awal yang dilakukan adalah pembuatan *pellet* sampel kompleks ditambah dengan senyawa KBr. Kedua senyawa tersebut kemudian digerus secara bersamaan pada cawan agat hingga tercampur sempurna. Setelah itu, dimasukkan serbuk campuran dalam *press holder*, ditekan perlahan hingga terbentuk *pellet*. Selanjutnya *pellet* tersebut diukur spektranya pada bilangan gelombang 375-4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Data yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan FTIR berupa transmittan (%) dan bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ). Pengolahan data analisis dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara transmittan (%) sebagai sumbu *y* dan bilangan gelombang sebagai sumbu *x*, sehingga dapat diamati modus vibrasi gugus fungsi yang muncul pada senyawa kompleks.

### 3.5.5 Karakterisasi dan Analisis Data Menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA)

Pengukuran luas permukaan dan distribusi ukuran pori sampel dilakukan berdasarkan isothermal adsorpsi-desorpsi nitrogen menggunakan instrumen *Surface Area Analyzer*. Metode yang digunakan untuk menentukan luas permukaan adalah metode Brunauer-Emmet-Teller (BET), sedangkan metode yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran pori adalah metode Barret-Joyner-Halenda (BJH). Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen diamati dengan menggunakan instrumen Quantachrome Corporation (Nova-1200). Hal yang perlu dilakukan sebelum

analisis ini adalah sampel sebanyak 0,2 gram divakum selama 3 jam pada 300°C kemudian dialiri gas Nitrogen pada 77 K.

Data yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> berupa data tekanan kesetimbangan adsorb ( $P$ ), tekanan penjenjihan adsorpsi-desorpsi cuplikan pada suhu rendaman pendingin ( $P_o$ ), volume gas N<sub>2</sub> yang diadsorpsi dan didesorpsi per gram sampel ( $V$ ), luas permukaan spesifik (m<sup>2</sup>/g), diameter pori (nm) dan ( $1/[W((P_o/P)-1)]$ ). Langkah selanjutnya yaitu dibuat grafik isotherm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> dengan cara menghubungkan tekanan relatif ( $P/P_o$ ) sebagai sumbu  $x$  dengan volume gas N<sub>2</sub> yang diadsorpsi dan didesorpsi per gram sampel (cm<sup>3</sup>/g) sebagai sumbu  $y$ . Hasil grafik yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan tipe grafik isotherm adsorpsi-desorpsi yang telah ditetapkan oleh *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), sehingga dapat diketahui karakteristik pori dari sampel.

Analisis selanjutnya dengan membuat grafik penentuan luas permukaan dari sampel dengan cara menghubungkan tekanan relatif ( $P/P_o$ ) sebagai sumbu  $x$  dengan ( $1/[W((P_o/P)-1)]$ ) sebagai sumbu  $y$ . Sehingga diperoleh sebuah persamaan  $y = ax + b$  dimana melalui persamaan tersebut diperoleh nilai *slope* ( $s$ ) dan intersep ( $i$ ). Berat gas nitrogen dapat membentuk lapisan monolayer ( $W_m$ ) didapatkan dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$W_m = \frac{1}{s+i} \dots \dots \dots (3.1)$$

Selanjutnya dihitung luas permukaan ( $St$ ) melalui persamaan 3.3

$$St = \frac{W_m}{M} \cdot N \cdot Acs \dots \dots \dots (3.2)$$

dengan  $N$  adalah bilangan Avogadro ( $6.0225 \times 10^{23}$  molekul/mol),  $W_m$  adalah berat gas nitrogen (g), dan  $A_{cs}$  adalah *Molecular cross section area* dari  $N_2$  yang besarnya adalah  $16.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ .

Distribusi ukuran pori diperoleh dari grafik dengan cara yaitu dibuat plot hubungan diameter pori (nm) sebagai sumbu  $x$  dengan volume gas  $N_2$  yang diadsorpsi per gram sampel ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) sebagai sumbu  $y$ . Ukuran pori dari sampel ditunjukkan oleh titik optimum yang didapat dari grafik tersebut.

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

Penelitian ini dilakukan proses sintesis kompleks polimer mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol menggunakan metode solvothermal pada variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C. Hasil dari sintesis dilakukan uji karakterisasi yang meliputi karakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur material kompleks polimer, karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada kompleks polimer, dan karakterisasi menggunakan SAA untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, ukuran pori dan diameter pori.

#### **4.1 Sintesis Kompleks Polimer Mangan (II) dengan Ligan 2-metil imidazol dengan Metode Solvothermal**

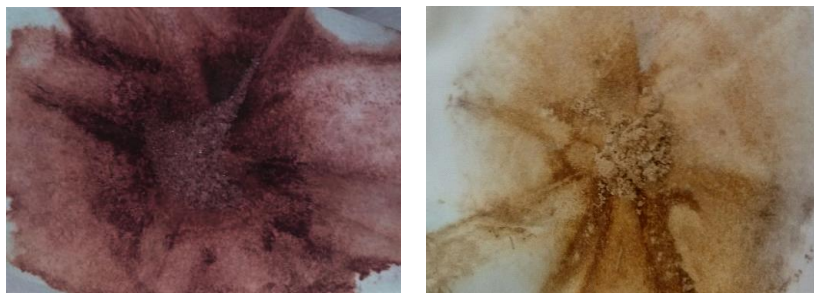
Material kompleks polimer Mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol disintesis menggunakan metode solvothermal dengan variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C selama 24 jam. Hasil pengamatan diketahui larutan mangan klorida tetrahidrat berwarna orange dan larutan ligan 2-metil imidazol tidak berwarna (bening). Kemudian saat kedua larutan dicampurkan berubah menjadi larutan warna coklat dan setelah proses sintesis menghasilkan produk seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengamatan

<b>Kompleks Polimer</b>	<b>Warna</b>	<b>Bentuk</b>
Produk 1 (140°C)	Merah bata	Kristal
Produk 2 (150°C)	Kuning keputihan	Bubuk

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.1 produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang. Produk 1 pada suhu 140°C diperoleh filtrat berwarna orange serta terbentuk kristal berwarna merah bata pada suhu 140°C. Hasil sintesis produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C didiamkan selama 2 jam dan terbentuk endapan kuning keputihan pada suhu 150°C dengan diperoleh filtrat berwarna orange dan tidak terbentuk kristal. Adanya endapan putih dimungkinkan masih terdapat ligan 2 metil imidazol yang tidak bereaksi secara sempurna.

Tidak terbentuknya kristal pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C disebabkan filtrat dengan endapan dipisahkan dalam waktu 2 jam yang berakibat pada kurangnya waktu pertumbuhan kristal dan hanya terbentuk endapan. Menurut Brian (2016) tidak terbentuknya kristal diakibatkan oleh sampel tidak diberikan waktu yang cukup untuk menumbuhkan kristal sehingga molekul perlahan-lahan akan menggumpal dan berantakan menjadi jenuh terlalu cepat serta menghasilkan banyak titik nukleasi dikarenakan suhu yang kurang stabil. Menurut Kahardina (2015) kristal terbentuk apabila telah mencapai suhu akhir kestabilan yaitu dengan didiamkan selama 48 jam (Kahardina, 2015).



Gambar 4.1 Hasil sintesis kompleks polimer Mangan (II) dengan ligan 2-metil imidazol (a) suhu 140°C dan (b) suhu 150°C

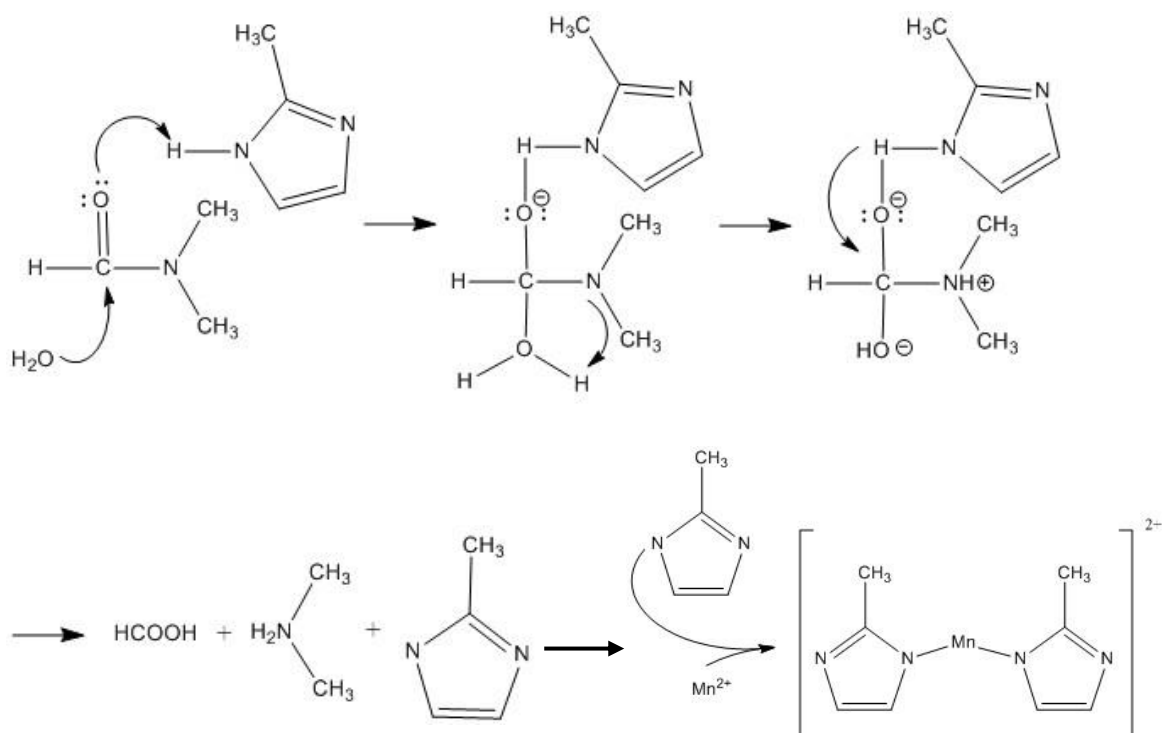
Kristal pada produk 1 disintesis pada suhu 140°C berwarna merah bata. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pujiono (2015) kompleks polimer Mn(II)-2-metil imidazol yang dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dihasilkan panjang gelombang maksimum adalah 495 nm. Rentang panjang gelombang 490-510 nm pada spektrofotometer UV-Vis menyerap cahaya tampak berwarna merah (Day, 1999). Dapat diduga bahwa pada produk 1 telah terbentuk kompleks polimer Mn(II)-2-metil imidazol. Hal ini didukung bahwa Mn(II)-2metil imidazol memiliki warna khas merah bata. Sedangkan pada Mn(III)-Cyclam memiliki warna khas hijau (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Warna Khas Mn(II), Mn(III)

Senyawa	Warna Khas	Referensi
Mn(II)-2-metil imidazol	Merah bata	Pujiono (2015)
Mn(III)-Cyclam	Hijau	Kimura (1991)

Pelarut *N,N*-dimetil formamida (DMF) digunakan untuk mendispersi ligan 2-metil imidazol agar cepat terdispersi dengan ion logam mangan klorida tetrahidrat. Selain itu DMF juga pada sintesis kompleks polimer membantu proses deprotonasi dari ligan 2 metil imidazol. DMF mudah mengalami hidrolisis di udara, membentuk

asam format dan  $\text{HNR}_2$  ( $\text{R}$ = Metil dan Etil) atau amina. Amina yang terbentuk dapat meningkatkan deprotonasi dari ligan 2 metil imidazol, serta menyebabkan ligan 2 metil imidazol memiliki kemampuan untuk menjembatani dengan logam pusat (Noro, 2013). Dugaan mekanisme reaksi yang terjadi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2.

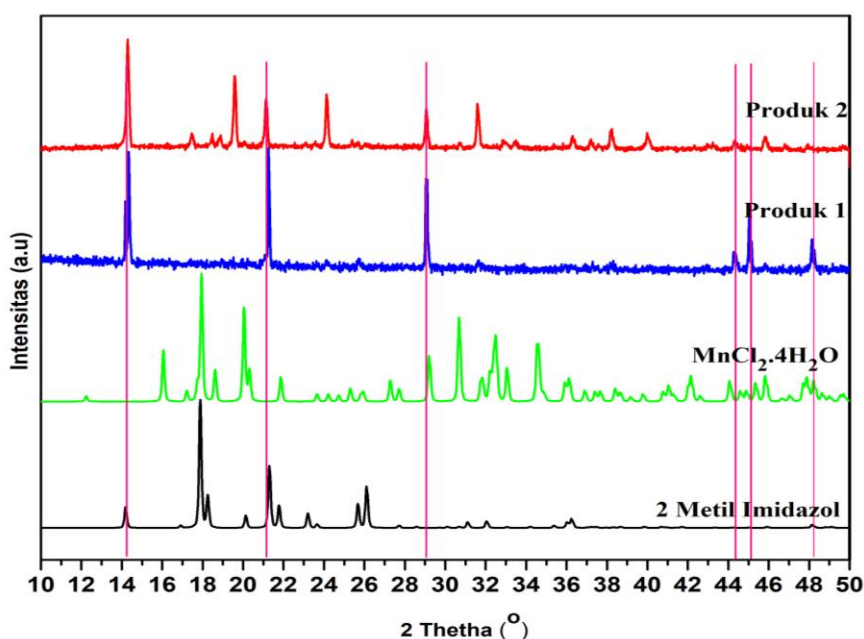


Gambar 4.2 Dugaan mekanisme reaksi dimetil formamida (DMF) dengan ligan 2-metil imidazol (Noro, 2013).

#### 4.2 Karakteristik Material Kompleks Polimer menggunakan Difraksi Sinar-X

Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui fasa dan struktur kristal produk sampel. Pola difraksi sinar-X pada sintesis produk 1 dan

produk 2 ditunjukkan pada Gambar 4.3. Fasa hasil sintesis pada produk 1 dan produk 2 diidentifikasi dengan cara membandingkan pola difraksi standar 2-metilimidazol (ICDD *Grant-in-Aid*, 1984) dan standar mangan klorida tetrahidrat (ICSD no. 23939). Hasil dari perbandingan tersebut dapat diketahui hasil produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C memiliki karakteristik puncak pada posisi  $2\theta$  ( $^{\circ}$ )= 14, 22, 29, 44, 45, dan 48. Sedangkan produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C terdapat puncak lain yang berbeda dengan produk 1 yang ditunjukkan pada  $2\theta$  ( $^{\circ}$ )= 14, 19, 22, 24, 29, 36, 38, 39, 44, dan 46.



Gambar 4.3 Pola difraksi produk 1 pada suhu 140 °C dan produk 2 pada suhu 150°C

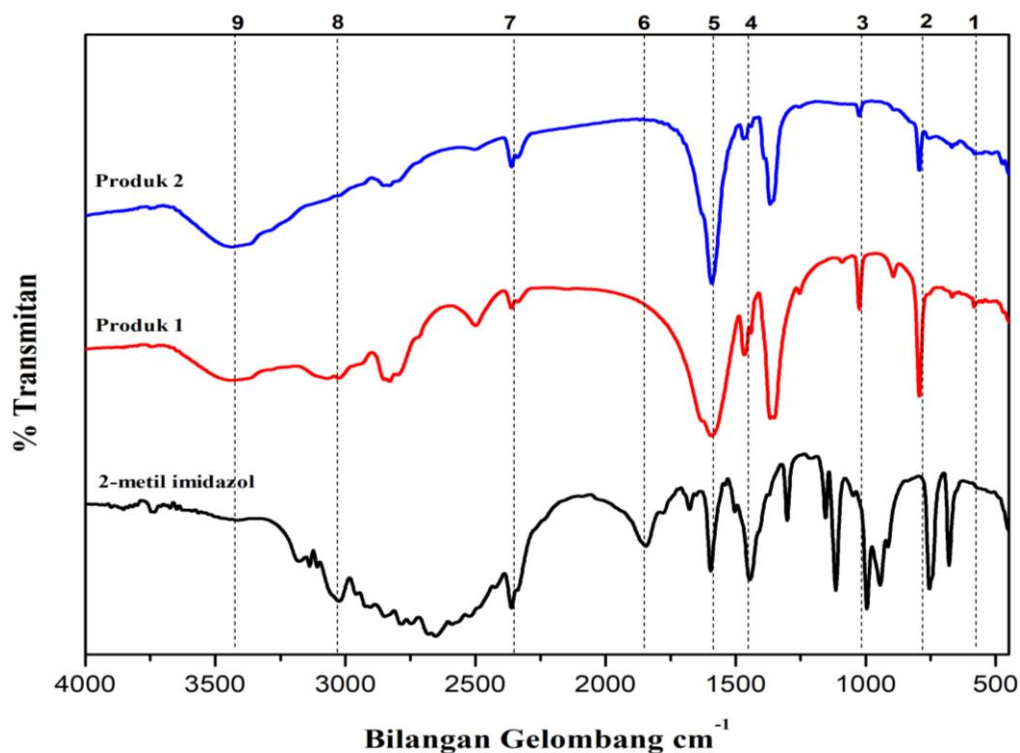
Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diamati bahwa pola difraksi pada produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C berbeda dengan dengan pola standar 2-metilimidazol dan standar mangan klorida tetrahidrat. Hal ini menandakan bahwa telah



terbentuk senyawa baru yang kristalin pada produk 1. Sedangkan sintesis produk 2 pada suhu 150°C teridentifikasi munculnya puncak lain disamping puncak-puncak produk 1 yaitu puncak pada  $2\theta$  ( $^{\circ}$ ) = 19, 31, 39, dan 46. Hal ini dapat diduga bahwa pada suhu 150°C terbentuk produk 2 yang berupa bubuk polikristalin dengan tambahan fasa lain yang berbeda dari produk 1.

#### **4.3 Karakteristik Material Kompleks Polimer menggunakan Spektroskopi Inframerah**

Karakterisasi spektroskopi inframerah bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada materi kompleks polimer hasil sintesis. Mula-mula dibuat pellet padatan kompleks hasil sintesis dan KBr dengan perbandingan 1:99. Pellet tersebut kemudian direkam pada bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  sehingga diperoleh spektra FT-IR. Perbandingan spektra FTIR antara kompleks dengan produk 1 dan produk 2 hasil sintesis dengan ligan 2-metil imidazol dengan variasi suhu 140°C dan 150°C ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan perbandingan bilangan gelombang pada Tabel 4.3.



Gambar 4.4 Spektra FTIR (hitam= ligan 2-metil imidazol, merah= Produk 1 suhu 140°C, dan biru= Produk 2 suhu 150°C)

Tabel 4.3 Bilangan Gelombang Mn-2-metil imidazol

Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )					
No	Referensi	2-metil imidazol	Produk 1 (140 °C)	Produk 2 (150 °C)	Keterangan
*1	594	-	583,58	596,17	Vibrasi Ulur Mn-N
“2	760	754,84	793,71	793.82	Vibrasi Tekuk C-H
#3	997	994,31	1024,36	1024,29	Vibrasi Tekuk C-N
“4	1146	1114,33	1123,72	1128,62	Vibrasi Ulur C-N Aromatis
*5	1482	1445,61	1467,07	1469,90	Vibrasi Tekuk C=C
*6	1682	1595,77	1592,51	1951,92	Vibrasi Ulur C=N
*7	2400	2361,46	2361,18	2361,15	Vibrasi Ulur C=C Aromatis
“8	3000	3024,62	3027,58	-	Vibrasi Ulur C-H
“9	3300	-	3442,06	3437,64	Vibrasi Ulur O-H

Referensi : (\*Malecki dkk., 2012 ; #Zhang, 2018, “Silverstein 2005).

Spektrum FTIR ligan 2-metil imidazol yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dengan spektra berwarna hitam. Puncak lemah pada bilangan gelombang 3024,62  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C-H. Puncak pada bilangan gelombang 2361,46  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur C=C aromatik. Puncak pada bilangan gelombang 1595,77  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C=N. Puncak pada bilangan gelombang 1445,65  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk C=C. Puncak pada bilangan gelombang 1114,33  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C-N aromatis. Keberadaan atom nitrogen pada ligan juga didukung oleh puncak pada bilangan gelombang 994,31  $\text{cm}^{-1}$  yang ditunjukkan adanya vibrasi tekuk C-N pada ligan. Puncak pada bilangan gelombang 754,84  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi tekuk C-H.

Spektrum FT-IR pada produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C ditunjukkan dengan spektra berwarna merah. Puncak dengan intensitas sedang dan melebar pada bilangan gelombang 3442,06  $\text{cm}^{-1}$  terindikasi adanya gugus O-H yang terikat pada ion Mn. Puncak tersebut menunjukkan bahwa pada senyawa kompleks terdapat air yang terikat sebagai ligan atau sebagai hidrat. Puncak pada bilangan gelombang 3027,58  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C-H. Puncak pada bilangan gelombang 2361,18  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur C=C aromatik. Puncak pada bilangan gelombang 1592,51  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C=N. Puncak pada bilangan gelombang 1467,07  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk C=C. Puncak pada bilangan gelombang 1123,72  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C-N aromatis. Puncak selanjutnya muncul pada bilangan gelombang 1024,36  $\text{cm}^{-1}$  dan 793,71  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk C-N dan vibrasi tekuk C-H. Puncak yang muncul pada bilangan gelombang 596,58  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur Mn-N akibat terbentuknya ikatan logam dan ligan (Mn-N) dari reaksi antara ligan 2-

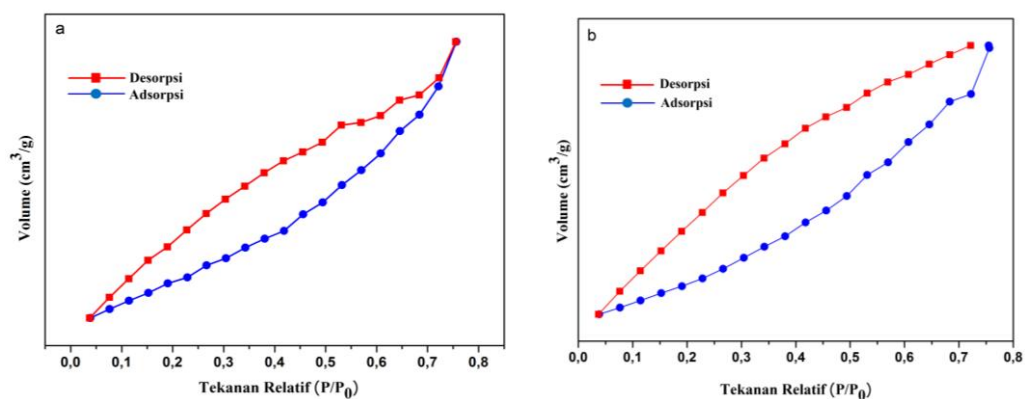
metil imidazol dengan logam Mn. Bila dibandingkan dengan spektrum FTIR ligan 2-metil imidazol, vibrasi tekuk C-N pada kompleks polimer produk 1 memiliki persen transmittan yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan telah terbentuk ikatan antara atom N pada cincin imidazol dengan atom Mn (Malecki dkk., 2012).

Spektrum FT-IR pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C dengan spektra berwarna biru yang disintesis. Puncak yang melebar pada bilangan gelombang 3437,64  $\text{cm}^{-1}$  terindikasi adanya gugus O-H yang terikat pada ion Mn. Puncak tersebut dapat diduga bahwa pada senyawa kompleks terdapat air yang terikat sebagai ligan atau hidrat. Puncak pada bilangan gelombang 1445,65  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur C=C aromatik. Puncak pada bilangan gelombang 1591,92  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C=N. Puncak pada bilangan gelombang 1469,90  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk C=C. Puncak pada bilangan gelombang 1128,62  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C-N aromatis. Puncak selanjutnya muncul pada bilangan gelombang 1024,29  $\text{cm}^{-1}$  dan 793,82  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk C-N dan vibrasi tekuk C-H. Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang 596,17  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur Mn-N akibat terjadinya reaksi antara ligan 2-metil imidazol dengan logam Mn (Pujiono, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Zhang (2018) menunjukkan bahwa pola ikatan antara ligan 2-metil imidazol dengan logam (Zn) pada bilangan gelombang 426  $\text{cm}^{-1}$ .

#### **4.4 Karakteristik Material Kompleks Polimer menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA)**

SAA (*Surface Area Analyzer*) merupakan salah satu instrumen penting dalam karakterisasi material kompleks polimer. Dengan instrumentasi ini, padatan

kompleks polimer dapat ditentukan tipe isotherm, luas permukaan, dan distribusi ukuran pori dari suatu material (*micropores*, *mesopores* atau *macropores*). Penentuan luas permukaan dilakukan menggunakan metode BET dan penentuan ukuran pori dilakukan dengan menggunakan metode BJH. Hasil penentuan tipe isotherm dari produk 1 pada suhu 140°C dan produk 2 pada suhu 150°C ditunjukkan pada Gambar 4.5.

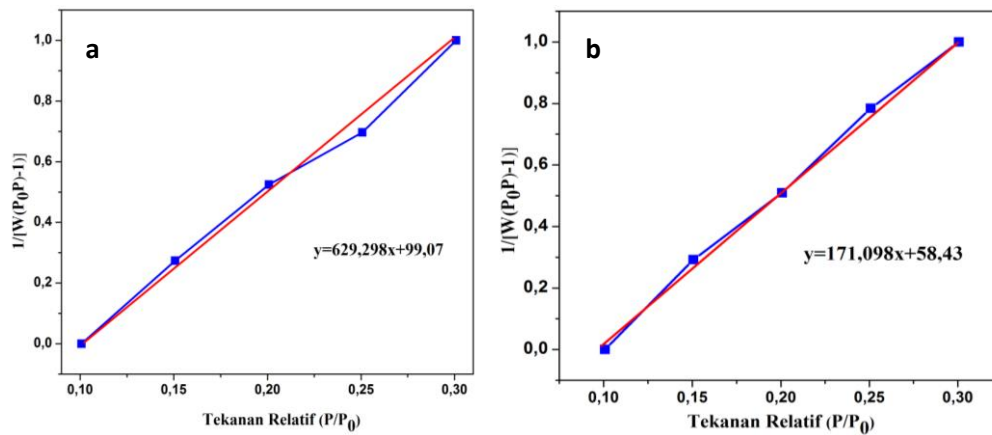


Gambar 4.5 Isoterm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> dari (a) Produk 1 pada suhu 140°C (b) Produk 2 pada suhu 150°C

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa tipe isotherm dari produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C dan produk 2 pada suhu 150°C merupakan tipe IV. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, isotherm tipe IV dengan karakteristik materi padatan mesopori ditandai dengan adanya *hysteresis loop*. *Hysteresis loop* terbentuk oleh volume gas nitrogen (N<sub>2</sub>) yang teradsorpsi pada permukaan material kompleks Mangan(II)-2-metil imidazol berbeda dengan volume gas nitrogen (N<sub>2</sub>) yang terdesorpsi. Disamping itu, grafik adsorpsi-desorpsi produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C memiliki *hysteresis loop* lebih sempit dibandingkan produk 2 pada suhu 150°C. Hal ini menunjukkan bahwa produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C

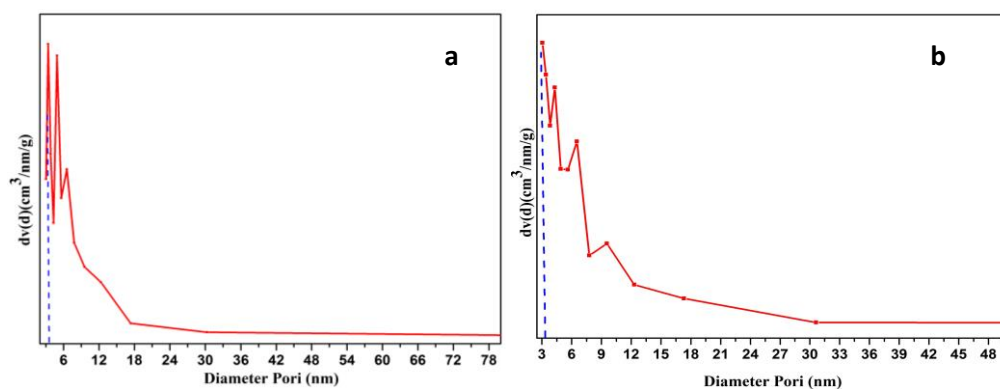
memiliki proporsi mesopori lebih sedikit dibandingkan dengan produk 2 pada suhu 150°C. Pada penelitian yang dilakukan oleh Lai (2016) Zn(II)-2-metil imidazol yang disintesis pada suhu 120°C juga memiliki proporsi mesopori lebih sedikit dibandingkan dengan kompleks polimer Zn(II)-2-metil imidazol yang disintesis pada suhu 140°C. Semakin meningkatnya suhu menunjukkan bahwa proporsi mesopori menjadi lebih besar.

Kurva hasil analisis luas permukaan ditunjukkan pada Gambar 4.6 dengan menggunakan metode BET. Dimana dari kurva tersebut didapatkan suatu persamaan regresi  $y = ax + b$  dimana melalui persamaan tersebut diperoleh nilai *slope* (*s*) dan intersep (*i*). Berdasarkan persamaan regresi tersebut dapat ditentukan luas permukaan dengan operasi perhitungan antara nilai *slope* dengan nilai intersep seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 6.3. Hasil luas permukaan produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C dan pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C secara berturut-turut adalah sebesar 4,781 m<sup>2</sup>/g dan 15,172 m<sup>2</sup>/g. Bila dibandingkan dengan kompleks Mangan(II)-2-metil imidazol pada penelitian Katoda (2017) yang memiliki luas permukaan 1684 m<sup>2</sup>/g, padatan kompleks polimer yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki luas permukaan yang lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan pada sampel hasil sintesis dimungkinkan masih terdapat sumbatan yang berasal dari pelarut DMF atau hidrat yang dapat menutup sisi aktif permukaan pada kompleks sehingga luas permukaannya menjadi kecil. Menurut Yan (2014) untuk menghilangkan sisa DMF dapat dilakukan dengan pencucian menggunakan kloroform selama 24 jam sebanyak 2 kali agar DMF yang terperangkap di dalam pori material larut dalam kloroform sehingga proses pencucian ini tidak akan merusak struktur padatan yang telah terbentuk.



Gambar 4.6 Penentuan luas permukaan menggunakan metode BET

Analisis ukuran pori menggunakan metode BJH ditunjukkan dengan kurva distribusi ukuran pori pada Gambar 4.7 Berdasarkan kurva tersebut diketahui produk 1 yang disintesis pada suhu  $140^\circ\text{C}$  dan pada produk 2 yang disintesis pada suhu  $150^\circ\text{C}$  secara berturut-turut menghasilkan ukuran pori sebesar 3,42 nm dan 3,05 nm. Hal tersebut menunjukkan bahwa material tersebut memiliki pori berukuran meso karena berada dalam rentang ukuran 2 hingga 50 nm.



Gambar 4.7 Distribusi ukuran pori dari (a) Produk 1 pada suhu  $140^\circ\text{C}$  (b) Produk 2 pada suhu  $150^\circ\text{C}$

Tabel 4.4 Hasil karakterisasi *Surface Area Analyzer* (SAA)

<b>Parameter</b>	<b>Produk 1 (140 °C)</b>	<b>Produk 2 (150 °C)</b>
Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)	4,781	15,172
Volume pori adsorpsi BJH (cm <sup>3</sup> /g)	0,009	0,031
Luas permukaan adsorpsi BJH (m <sup>2</sup> /g)	4,334	17,035
Diameter pori adsorpsi BJH (nm)	3,4164	3,0564
Volume pori desorpsi BJH (cm <sup>3</sup> /g)	0,007	0,021
Luas permukaan desorpsi BJH (m <sup>2</sup> /g)	3,699	14,320
Diameter pori desorpsi BJH (nm)	3,405	3,4088
Volume pori total (cm <sup>3</sup> /g)	0,009	0,028
Rata-rata diameter pori (nm)	3,782	3,776

Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui bahwa produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C memiliki luas permukaan dan volume pori yang lebih rendah dibandingkan dengan produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C. Hal ini mengindikasikan bahwa produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C memiliki kapasitas penyimpanan hidrogen yang lebih tinggi dibandingkan produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C dikarenakan kapasitas penyimpan hidrogen berbanding lurus dengan luas permukaan dan volume pori. Jika luas permukaan dan volume pori besar maka kapasitas penyimpanan hidrogen besar (Sculley, 2011).

#### **4.5 Sintesis Kompleks Mangan (II) dengan Ligan 2-Metil Imidazol dalam Perspektif Islam**

Proses untuk memperoleh sebuah pengetahuan memang tidak semudah membalikkan telapak tangan karena memerlukan perhatian besar, seperti



melakukan serangkaian penelitian dengan metode yang terukur dan sistematis dengan memeriksa hal-hal yang telah diperintahkan Allah Swt. melalui ayat-ayat kauniyah dan menganalisis data yang dihasilkan sehingga sampai pada penarikan kesimpulan yang rasional itulah kegiatan utama pengembangan ilmu pengetahuan yang memerlukan kemampuan berfikir kritis sebagaimana firman Allah dalam Surat Al-Baqarah ayat 164:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Artinya: “Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan.

Berdasarkan Tafsir Jalalain pada ayat di atas menjelaskan tentang bukti kekuasaan Allah Swt. bagi orang yang senantiasa berfikir dan merenungkan tentang penciptaan langit dan bumi untuk mendapatkan bukti atas kekuasaan penciptaan-Nya. Sebagai makhluk yang diberi berbagai potensi sekaligus diamanahkan menjadi penguasa bumi dengan tugas serta tanggung jawab yang menuntutnya untuk melakukan pengelolaan dengan baik. Manusia sebagai makhluk yang diberi akal oleh Allah Swt. harus mengetahui dan memahami sifat terhadap kejadian alam di sekitarnya untuk dikelola secara efektif dan efisien, sehingga melalui proses berfikir diharapkan manusia memperoleh berbagai pengetahuan. Salah satu upaya

pengamalan ayat tersebut dilakukan melalui pengoptimalan material kompleks polimer yang dapat digunakan sebagai penyimpanan hidrogen (Yulita, 2015).

Mn-2-metil imidazol merupakan material berpori yang dikembangkan sebagai material penyimpan hidrogen. Mn-2-metil imidazol pilihan yang tepat sebagai bakar energi alternatif yang dapat diperbarui dan bebas emisi sehingga dapat mengurangi polusi udara. Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan berbagai informasi dari hasil sintesis kompleks Mn-2-metil imidazol dengan metode solvothermal dengan diketahui luas permukaan dan ukuran pori produk 1 yang disintesis pada suhu 140 °C adalah sebesar 4,781 m<sup>2</sup>/g dan 3,42 nm serta produk 2 yang disintesis pada suhu 150 °C memiliki luas permukaan 15,172 m<sup>2</sup>/g dan ukuran pori sebesar 3,05 nm. Hal ini menandakan bahwa kompleks Mangan(II)-2-metil imidazol dapat digunakan sebagai material penyimpan hidrogen.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi suhu dapat diketahui pada produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C telah terbentuk senyawa yang kristalin yang diduga senyawa kompleks polimer Mn-2-metil imidazol dan pada pola difraksi pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C teridentifikasi tambahan fasa lain dengan munculnya puncak pada  $2\theta$  (°)= 19, 31, 39, dan 46.
2. Pengaruh variasi suhu terhadap luas permukaan dan volume pori pada produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C adalah sebesar 4,781 m<sup>2</sup>/g dan 0,009 serta pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C memiliki luas permukaan 15,172 m<sup>2</sup>/g dan volume pori sebesar 0,031. Produk 2 memiliki luas permukaan dan volume pori yang lebih besar dibandingkan produk 1.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai waktu pertumbuhan kristal yang optimal menggunakan metode solvothermal agar produk yang dihasilkan memiliki tingkat kristalinlitas yang tinggi.
2. Perlu dilakukan pemilihan pelarut saat pencucian agar DMF yang terperangkap di dalam pori material larut sehingga tidak menyumbat sisi permukaan senyawa kompleks polimer.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus, Eko, T.S. 2009. Sintesis Hidrotermal Atapulgit Berbasis Batuan Gelas Vulkanik (Perlit) : Perbedaan Perlakuan Statis Dan Dinamis Pengaruhnya Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Kristal. *Puslit Geoteknologi Komplek LIPI*.
- Chang, Raymond. 2002. *Chemistry 7<sup>th</sup> Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Chang, Raymond. 2004. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti. Ed. ke-3*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chen, Y., and Tang, S. 2019. Solvothermal synthesis of porous hydrangea-like zeolitic imidazole framework-8 (ZIF-8) crystals. *Journal of Solid State Chemistry*. doi:10.1016/j.jssc.2019.04.034
- Cheng, S., Liu, S., Zhao, Q., Li, J., 2009. Improved Synthesis and Hydrogen Storage of a Microporous Metal-Organic Framework Material. *Energy Conversion and Management*, 50: 1314-1317.
- Chui, S.S.Y., Lo, S.M.-F., Charmant, J.P.H., Orpen, A.G., Williams, I.D. (1999). A chemically functionalizable nanoporous material [Cu<sub>3</sub>(TMA)(2)(H<sub>2</sub>O)(3)](n). *Journal of Science*, 283, 1148–1150.
- Cullity B. D. and Stock S.R. 2001. *Elements of X-Ray Diffraction*. New Jersey: Prentice Hall.
- Cotton, F. Albert dan Wilkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Day, R.A. & Underwood, A.L. (1999). Analisis Kimia Kuantitatif Edisi 6 (diterjemahkan oleh Dr. Ir. Iis Sopyan, M. Eng.) Jakarta: Erlangga.
- Dinca M., Dailly A., Liu Y., Brown C., Neumann D., Long J. 2006. Hydrogen Storage in a Microporous Metal-Organic Framework with Exposed Mn<sup>2+</sup> Coordination Sites. *American Chemistry Society*, 128: 16876-16883.
- Fessenden dan Fessenden. 1986. *Kimia Organik. Edisi Ketiga. Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Gregg, S.J. and Sing, K.S.W., 1982. Adsorption, Surface and Porosity 2<sup>ed</sup>. *Academic Press, London*.

- Gunawan, B. dan Citra D. A. 1979. Karakterisasi Spektrofotometri I R dan Scanning Electron Microscopy (S E M) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (P E G). *Journal Sains*. 3(2): 1-17.
- Hindrayawati, Mujiyanti. 2010. Jenis-Jenis dan Sifat-Sifat Bambu, Silika, Ekstraksi Silika, Keramik Silika, dan Karakterisasinya, Skripsi. Universitas Lampung, Lampung.
- Huang, N. Xi, Q. dan L. Liu. 2008. Imidazoles. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry III. Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, 4: 143-364.
- Hasegawa, Kimiko. 2005. Introduction to Single Crystal X-ray Diffraction. *The Rigaku Journal*. 28: 14-18.
- Huo Q. dan Z. A. Qiao. 2011. Chapter 16 - Synthetic Chemistry of the Inorganic Ordered Porous Materials. *Modern Inorganic Synthetic Chemistry* (R. Xu, W. Pang, and Q. Huo, Editor). Elsevier, Amsterdam. pp. 339–373.
- International Union Of Pure And Applied Chemistry. 2002. *Harmonized Guidelines For Single-Laboratory Validation Of Methods Of Analysis (IUPAC Technical Report)*. London: IUPAC.
- Jain I. P. 2009. Hydrogen The Fuel for 21st Century, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34: 7368-7378.
- Kadota, Kentaro., Easan Sivaniah., Sareeya Bureekaew., Susumu Kitagawa., dan Satoshi Horike. 2017. Synthesis of Manganese ZIF-8 from  $[\text{Mn}(\text{BH}_4)_2 \cdot 3\text{THF}] \cdot \text{NaBH}_4$ , *American Chemistry Society*.
- Kahardina. 2015. Pengaruh Perbandingan Pelarut Etanol dan Dimetilformamida pada Sintesis Metal Organik Framework Hkust-1. *Akta Kimindo* Vol. 1: 25-33.
- Kemenag RI. 2011. Al- Qur'an dan Terjemahnya Jakarta: Adhi Aksara Abadi Indonesia.
- Kholiq, 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. hal 75–91.
- Lai, Li Sze., Yin Fong Yeong., Kok Keong Lau and Azmi Mohd Shariff. 2016. Effect of Synthesis Parameters on the Formation of ZIF-8 Under Microwave-assisted Solvothermal. *Procedia Engineering*, 148: 35–42.
- Lee, B. dan Komarneni, S. 2005. Chemical Processing of Ceramics. CRC Press.

- Lee, J.D. 1991, *Concise Inorganic Chemistry*. Capmann and Hall, London.
- Lehnert, R. L dan Sheel, F. 1980. Darstellung und Kristallstruktur des Mangan( II)- und Zink(II)-Derivates des Imidazols. *Z. anor. Allg. Chem*, 464: 187-194.
- Ma, L. F., Han M. L., Qin, J. H., Wang L. Y., Du, M., (2012), “MnII Coordination Polymers Based on Bi-, Tri-, and Tetranuclear and Polymeric Chain Building Units: Crystal Structures and Magnetic Properties”, *Inorganic Chemistry*, Vol. 51, Hal. 9431–9442
- Małecki, J.G., Groń, T., Duda H. 2012. Structural, Spectroscopic andMagnetic Properties of Thiocyanate Complexes of Mn(II), Ni(II) andCu(II) with the 1-Methylimidazole Ligand, *Polyhedra*, Vol. 36, Hal. 56-68.
- Mulyati, Tri Ana., Ratna Ediatl., Dan Afifah Rosyidah. 2015. Influence Of Solvothermal Temperatures And Times On Crystallinity And Morphology Of Mof-5. *Indones. J. Chem*, 15(2): 101-107.
- Nguyen L. T. L., Le K. A., Phan T. S. 2012. “A Zeolite Imidazolate Framework ZIF-8 Catalyst for Friedel-Crafts Acylation”, *Chinese Journal of Catalysis*, 33: 688-696.
- Nordin, N. A. H. M., Ismail, A. F., Mustafa, A., Goh, P. S., Rana, D., Matsuura, T. 2014. Aqueous Room Temperature Synthesis of Zeolitic Imidazole Framework 8 (ZIF-8) with Various Concentrations of Triethylamine. *The Royal Society of Chemistry*, 4: 33292-33300.
- Noro S. (2013) Metal–Organic Frameworks. In *Comprehensive Inorganic Chemistry II* (Second Edition). (eds. J. Reedijk and K. Poepelmeier). Elsevier, Amsterdam. pp. 45–71.
- Park, Kyo Sung., Zheng Ni., Adrien P. Cote., Jae Yong Choi., Rudan Huang., Fernando J. Uribe-Romo., Hee K. Chae., Michael O’Keeffe., dan Omar M. Yaghi. 2006. Exceptional Chemical and Thermal Stability of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(27): 10186-10191.
- Phan, Anh., Christian J. Doonan., Fernando J., Uribe-Romo., Carolyn B. Knobler., Michael O’keeffe., dan Omar M. Yaghi. 2009. Synthesis, Structure, and Carbon Dioxide Capture Properties of Zeolitic Imidazolate Frameworks. *Accounts of Chemical Research*, 43(1): 58-67.

- Pujiono, Fery Eko dan Fahimah Martak. 2015. Studi Sintesis Senyawa Kompleks Mangan (II) 2,4,5-trifenilimidazol dengan Metode Solvotermal. *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VI*, ISBN: 979363174-0.
- QingQing, PAN., GUO Ping., DUAN Jiong., CHENG Qiang., dan LI Hui. 2012. Comparative crystal structure determination of griseofulvin: Powder X-ray diffraction versus single-crystal X-ray diffraction. *Chin Sci Bull*, 57(30): 3867–3871.
- Robin, Adeline Y. dan Katharina M. Fromm. 2006. Coordination Polymer Networks with O- and N-donors: What they are, why and how they are made. *Coordination Chemistry Reviews*, 250: 2127–2157.
- Rowsell, J. L. C dan Yaghi O. M. (2004). Metal–organic frameworks: a new class of porous materials. *Microporous and Mesoporous Materials*, 73: 3–14.
- Saha, D., Deng. S. 2009. Synthesis, Characterization and Hydrogen Adsorption in Mixed Crystal of MOF-5 and MOF-177. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34: 2670-2678.
- Sculley, J., Yuan, D., Zhou, H. 2011. The Current Status of Hydrogen Storage in Metal Organic Frameworks, *Energy Environmental Science*, 4: 2721-2735.
- Silverstein, R. M, Webster, F. X., Kiemle, D. J., Bryce, D, L., 2005, Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th edition, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Smallman, R. E. dan R. J. Bishop, 2000. "Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering. New York : Hill International Book Company.
- Suh, Myunghyun Paik., Hye Jeong Park., Thazhe Kootteri Prasad., dan Dae-Woon Lim. 2012. Hydrogen Storage in Metal Organic Frameworks. *American Chemistry Society*, 112: 782-835.
- Suh, Myunghyun Paik. 2015. Metal-Organic Frameworks and Porous Coordination Polymers: Properties and Applications. *Bulletin of Japan Society of Coordination Chemistry*, 65: 9-22.
- Sujatno, Agus. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN). Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju*.

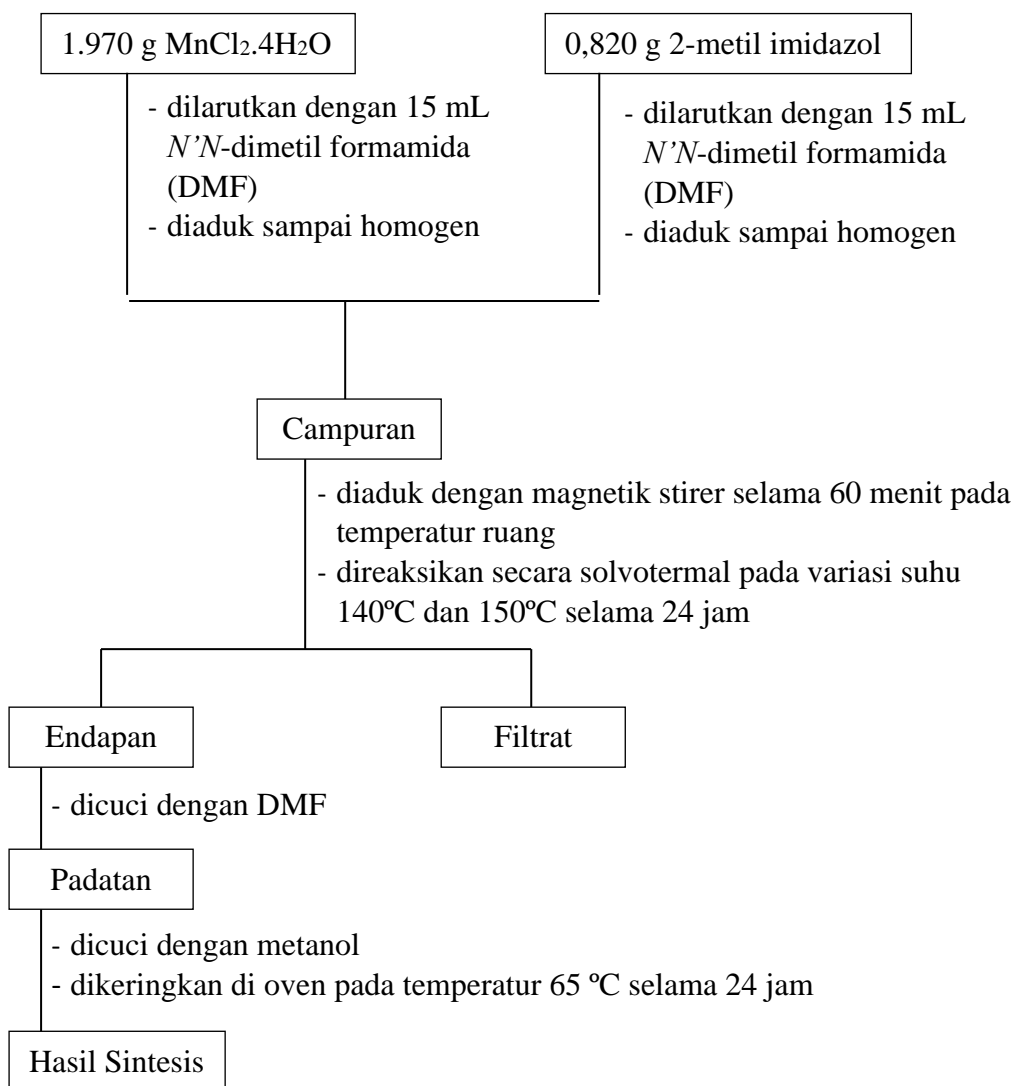
- Sulistiyo, Yudi Aris. Ratna Ediati., Muhammad Nadjib., dan Didik Prasetyoko. 2015. Pola Pertumbuhan Kristal ZIF-8 Hasil Sintesis Secara Solvothermal Pada Suhu Rendah. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. Hal. 144-148.
- Squires, Robert. R. 1985. Correlation of Electron and Hydrogen Atom Binding Energies for Transition-Metal Atoms. *American Chemistry Society*, 107: 4385-4390.
- Thermo Nicolet. 2001. *Introduction Fourier Transform InfraRed Spectrometry*. Madison.
- Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta : Erlangga
- Venna, S. R., Jasinski, J. B. dan Carreon, M. A., 2010, "Structural Evolution of Zeolitic Imidazolate Framework-8", *Journal of American Chemical Society*, 138: 18030–18033.
- Venna, S. R., dan Moises A. Carreon. 2009. Highly Permeable Zeolite Imidazolate Framework-8 Membranes for CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> Separation. *Journal of the American Chemical Society*, 132: 76–78.
- Yadav, A. K. 2015. Rhyzofiltration of Heavy Metal (Cadmium, Lead, and Zinc) from Fly Ash Leachates Using Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *International Jurnal of Inveronment*, 4(3): 174-196.
- Yan, Z., Zheng, J., Chen, J., Tong, P., Lu, M., Lin, Z., Zhang, L. (2014). Preparation and evaluation of silica-UIO-66 composite as liquid chromatographic stationary phase for fast and efficient separation. *Journal of Chromatography A*, 1366 : 45–53
- Yulita, Erna. 2015. Akal dan Pengetahuan dalam Al-Qur'an. *Jurnal Mitra PGMI*. 1 (1) : 78-96.
- Zhao, D., Yuan, D., Zhou, H. 2008. The Current Status of Hydrogen Storage In Metal–Organic Frameworks. *Energy Environmental Science*, 1: 222-235.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Diagram Alir

#### 1. Sintesis Material Kompleks Polimer Mn(II)-2-Metilimidazol dengan Variasi Suhu 140°C dan 150°C menggunakan Metode Solvothermal.



## Lampiran 2. Perhitungan

MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O dengan 2-metil imidazol menggunakan perbandingan molar 1:1

### 2.1 Perhitungan Massa Senyawa MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O

$$\begin{aligned}\text{Mr Senyawa} &= 197.91 \text{ g/mol} \\ \text{Mol Senyawa} &= 10 \text{ mmol} \\ \text{Massa Senyawa} &= \text{mol} \times \text{BM} \\ &= 10 \text{ mmol} \times 197.91 \text{ g/mol} \\ &= 1970.91 \text{ mg} \\ &= 1.970 \text{ g}\end{aligned}$$

### 2.2 Perhitungan Massa Senyawa 2-metil Imidazol

$$\begin{aligned}\text{Mr Senyawa} &= 82.11 \text{ g/mol} \\ \text{Mol Senyawa} &= 10 \text{ mmol} \\ \text{Massa Senyawa} &= \text{mol} \times \text{BM} \\ &= 10 \text{ mmol} \times 82.11 \text{ g/mol} \\ &= 820.11 \text{ mg} \\ &= 0.820 \text{ g}\end{aligned}$$

### 2.3 Perhitungan Stoikiometri Massa Senyawa Hasil Sintesis

- $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}_{(s)} + \text{DMF}_{(aq)} \rightarrow \text{Mn}^{2+}_{(\text{DMF})} + 2\text{Cl}^{-}_{(\text{DMF})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{DMF})}$
- $2\text{-metil imidazol}_{(s)} + \text{DMF}_{(aq)} \rightarrow 2\text{-metil imidazol}_{(\text{DMF})}$

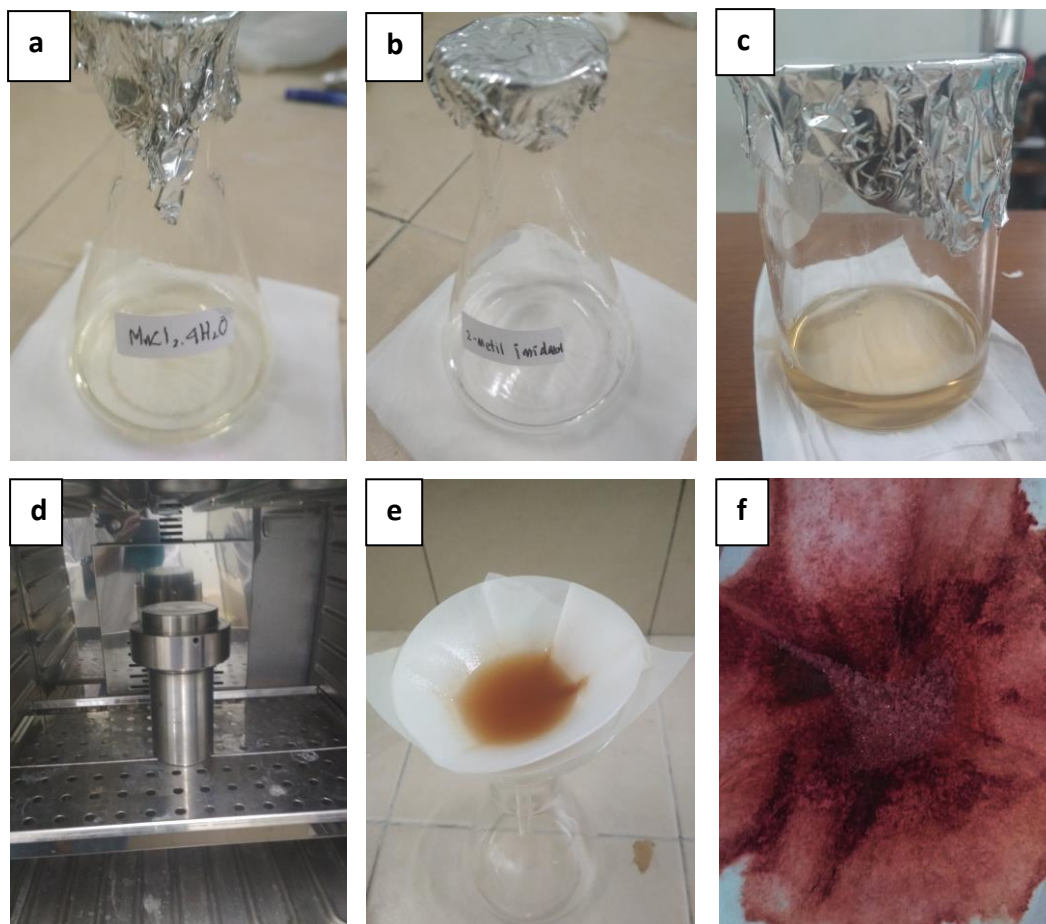


Mula-mula	10 mmol	10 mmol	-
Bereaksi	10 mmol	10 mmol	10 mmol
Setimbang	-	-	10 mmol

Sehingga, mol Mn (II)-2-metil imidazol = 10 mmol (dengan asumsi produk memiliki perbandingan molar antara logam dan ligan adalah 1:1)

$$\begin{aligned}\text{Mol Mn(II)-2-metil imidazol} &= \frac{\text{massa Mn(II)-2-metil imidazol}}{\text{Mr Mn(II)-2-metil imidazol}} \\ 10 \text{ mmol} &= \frac{\text{massa Mn(II)-2-metil imidazol}}{137.04 \text{ gr/mol}} \\ \text{Massa 2-metil imidazol} &= 10 \text{ mmol} \times 137.04 \text{ gr/mol} \\ &= 1370.04 \text{ mg} \\ &= 1.370 \text{ g}\end{aligned}$$

### Lampiran 3. Dokumentasi



Gambar L.3.1 Proses sintesis kompleks Mangan(II)-2-metil imidazol (a) larutan  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , (b) larutan 2-metil imidazol, (c) hasil pencampuran prekursor pada larutan (a) dan (b), (d) proses solvothermal (e) endapan dicuci dengan metanol (f) hasil pengeringan di oven pada temperatur  $65^\circ\text{C}$ .

#### Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD

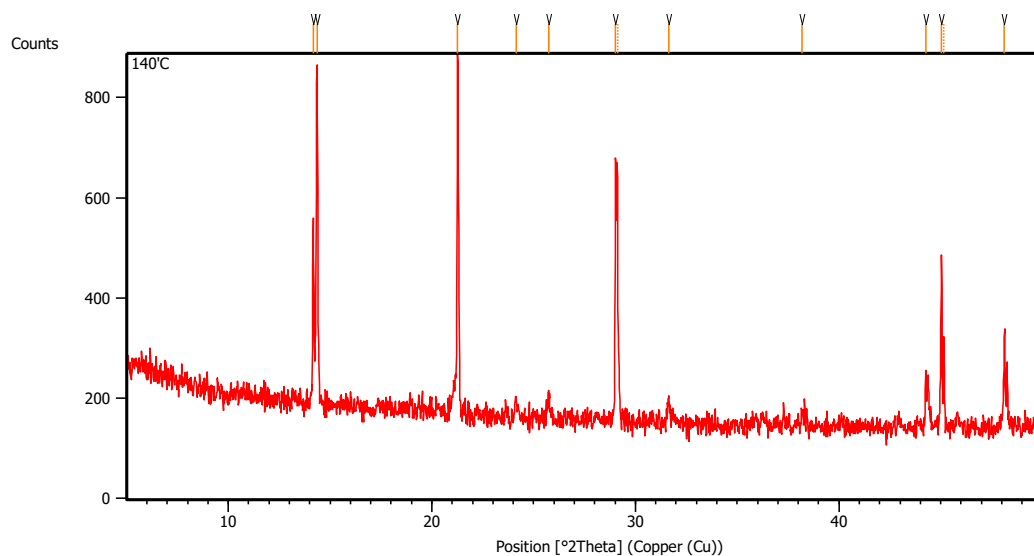
Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya. Adapun spesifikasi instrumen XRD yang digunakan dapat dilihat pada Tabel L.4.1

Tabel 4.1 Spesifikasi instrumen XRD

Spesifikasi	
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]	1.54443
K-Beta [ $\text{\AA}$ ]	1.39225
K-A2/K-A1 Ratio	0.50000
Generator Setting	30 mA, 40 Kv
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Start Position [ $^{\circ}2\theta$ .]	5.0084
End Position [ $^{\circ}2\theta$ .]	49.9904
Sampel	Mangan(II)-2-metil imidazol 140 °C : Mangan(II)-2-metil imidazol 150 °C

## Lampiran 4.1 Difraktogram Hasil Karakterisasi menggunakan XRD

### 1. Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)

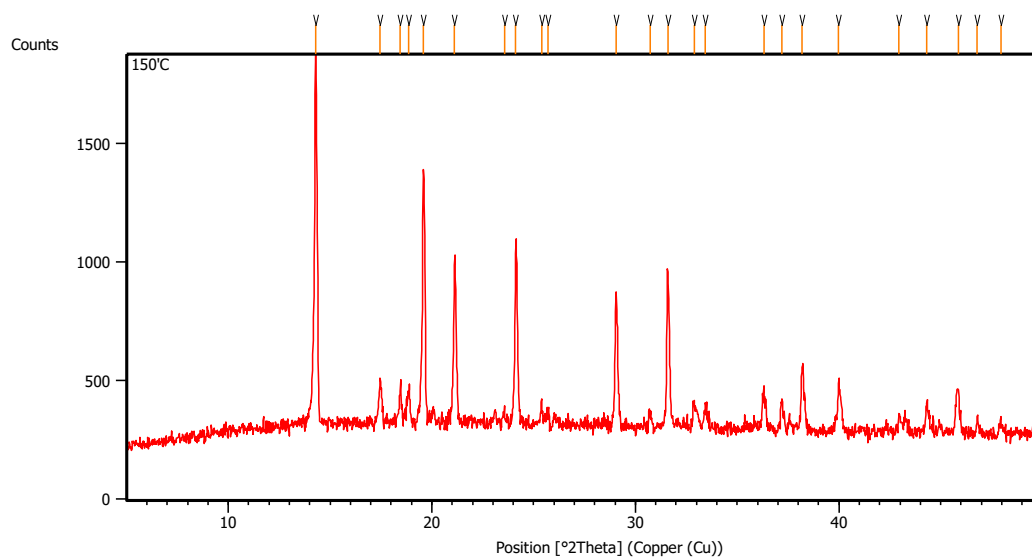


Gambar L.4.1 Difraktogram Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)

Tabel L.4.2 Data XRD Difraktogram Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1753	367.92	0.0502	6.24809	51.56
14.3572	677.54	0.0669	6.16933	94.95
21.2710	713.55	0.0836	4.17716	100.00
24.1556	29.17	0.2007	3.68447	4.09
25.7341	58.57	0.1004	3.46193	8.21
29.0302	530.27	0.0816	3.07339	74.31
29.1131	492.77	0.0408	3.07244	69.06
31.6333	48.55	0.1632	2.82617	6.80
38.2040	19.20	0.4896	2.35385	2.69
44.2704	117.67	0.0612	2.04436	16.49
45.0392	345.77	0.0612	2.01123	48.46
45.1617	185.03	0.0408	2.01104	25.93
48.1324	197.89	0.0612	1.88895	27.73

## 2. Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)



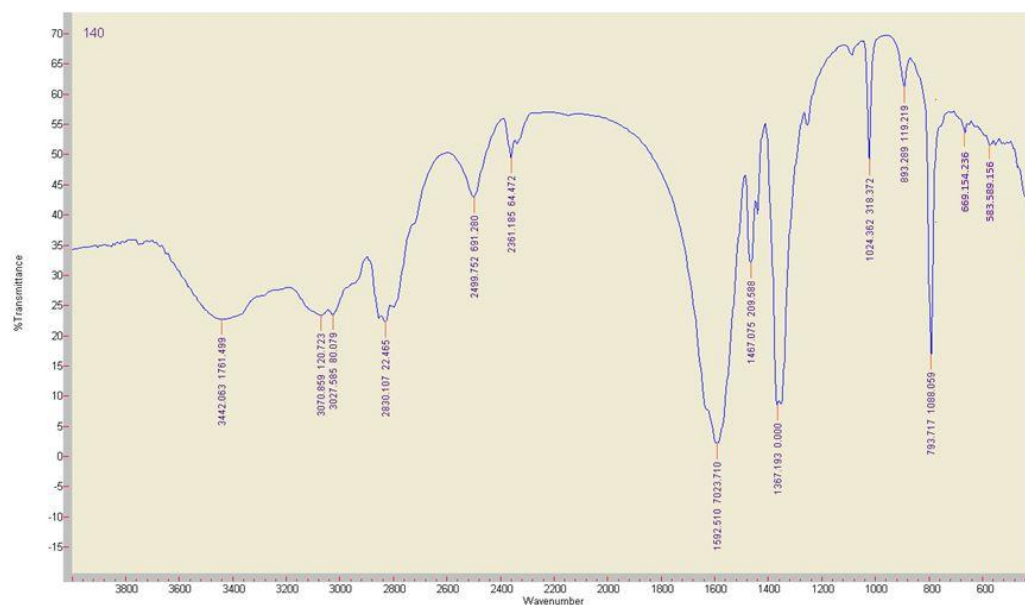
Gambar L.4.2 Difraktogram Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)

Tabel L.4.3 Data XRD Difraktogram Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.2913	1570.08	0.1338	6.19765	100.00
17.4588	195.01	0.0836	5.07970	12.42
18.4585	143.93	0.0669	4.80677	9.17
18.8638	142.50	0.1338	4.70442	9.08
19.5896	1071.74	0.1171	4.53172	68.26
21.1206	708.55	0.1171	4.20656	45.13
23.5776	39.77	0.2007	3.77346	2.53
24.1229	758.33	0.1171	3.68939	48.30
25.3900	86.87	0.1004	3.50807	5.53
25.7116	52.40	0.1004	3.46491	3.34
29.0461	566.08	0.1171	3.07429	36.05
30.7120	60.11	0.1338	2.91122	3.83
31.5904	670.33	0.0836	2.83225	42.69
32.8803	105.23	0.1004	2.72403	6.70
33.4367	92.04	0.1004	2.67996	5.86
36.3211	149.96	0.1004	2.47348	9.55
37.2026	132.22	0.0836	2.41688	8.42
38.1745	248.50	0.1171	2.35755	15.83
39.9829	214.48	0.0669	2.25500	13.66
42.9590	59.86	0.2007	2.10542	3.81
44.3159	129.98	0.1004	2.04405	8.28
45.8766	186.28	0.1004	1.97808	11.86
46.8005	70.16	0.1004	1.94117	4.47
47.9568	42.86	0.2007	1.89703	2.73

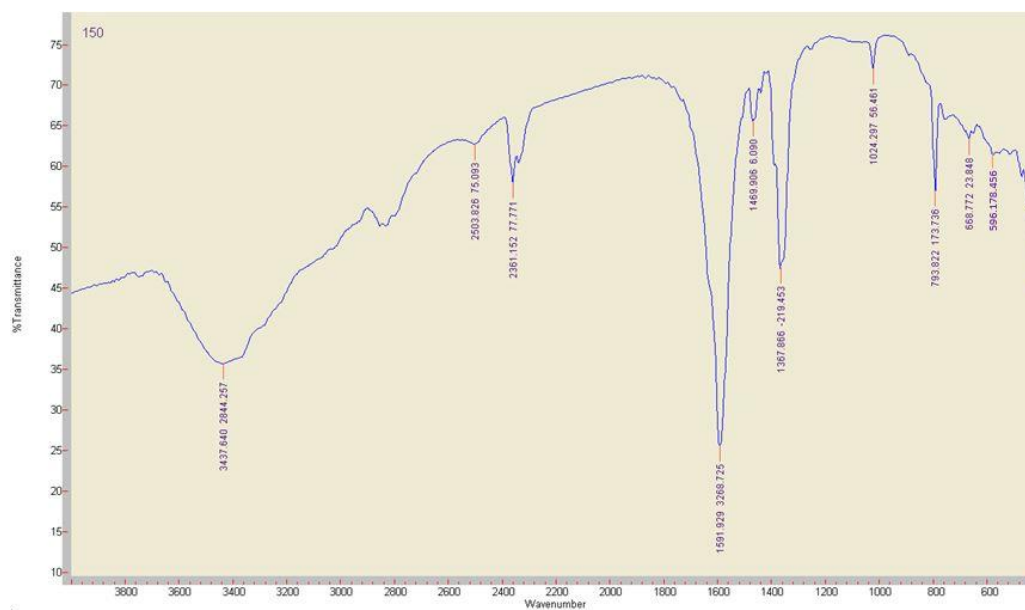
## Lampiran 5. Hasil Spektra IR

### L.5.1 Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)



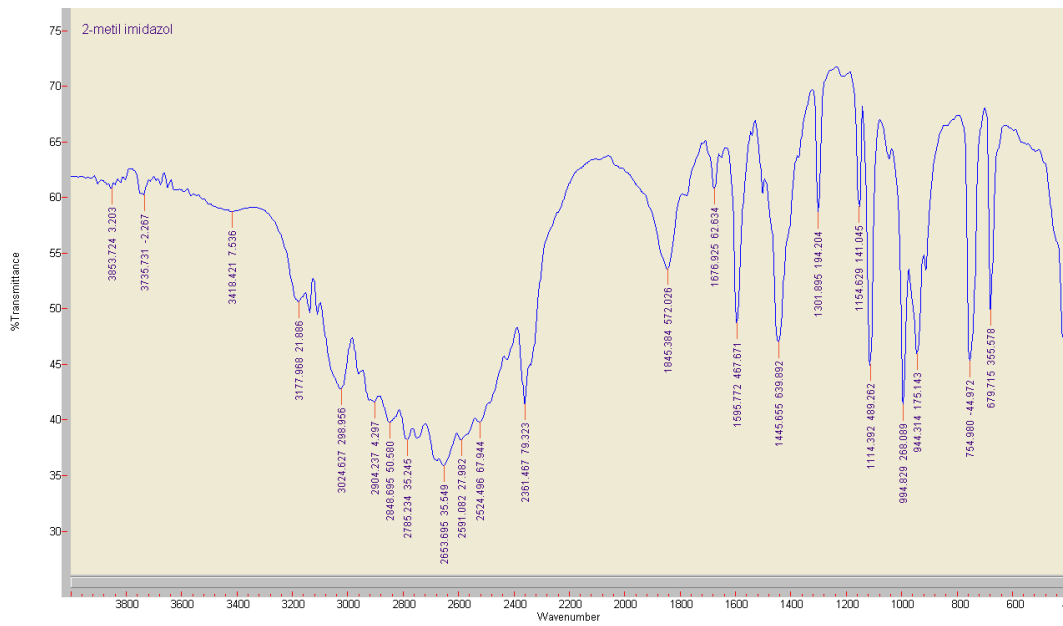
Gambar 5.1 Spektrum IR dari Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)

### L.5.2 Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)



Gambar 5.2 Spektrum IR dari Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)

### L.5.2 2-metil imidazol



Gambar 5.3 Spektrum IR dari 2-metil imidazol



## Lampiran 6. Hasil karakterisasi Menggunakan SAA

### L.6.1 Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)

Raw Analysis Data					
Press	P0	Volume @ STP	Time	Tol	Equ
[Torr]	[Torr]	[cc]	[min]		
38.29	760.00	0.0475309	3.1	0	1
76.5499	760.00	0.0691987	4.7	0	1
114.574	760.00	0.0897934	6.3	0	1
152.599	760.00	0.108981	7.9	0	1
190.508	760.00	0.132175	9.5	0	1
228.664	760.00	0.146685	12.3	0	1
266.368	760.00	0.176745	15.0	0	1
304.588	760.00	0.194084	17.9	0	1
342.394	760.00	0.220202	20.7	0	1
380.464	760.00	0.242143	23.6	0	1
418.5	760.00	0.261268	26.0	0	1
456.149	760.00	0.301624	28.4	0	1
494.27	760.00	0.33093	31.1	0	1
531.981	760.00	0.373425	33.9	0	1
570.105	760.00	0.409848	36.7	0	1
607.993	760.00	0.451293	38.7	0	1
645.714	760.00	0.505913	41.1	0	1
684.021	760.00	0.54594	43.6	0	1
721.419	760.00	0.615338	46.3	0	1
756.453	760.00	0.724949	51.1	0	1
755.094	760.00	0.719275	53.6	0	1
722.622	760.00	0.635061	56.0	0	1
683.658	760.00	0.595116	58.9	0	1
645.102	760.00	0.582889	61.8	0	1
607.571	760.00	0.546463	64.6	0	1
569.168	760.00	0.530444	67.1	0	1
530.964	760.00	0.524317	69.5	0	1
493.548	760.00	0.484182	72.6	0	1
455.186	760.00	0.461893	75.6	0	1
417.246	760.00	0.44086	78.3	0	1
379.361	760.00	0.412814	80.6	0	1
341.342	760.00	0.381622	83.5	0	1
303.346	760.00	0.35127	86.3	0	1
265.556	760.00	0.317476	88.0	0	1
227.631	760.00	0.279386	89.8	0	1
189.628	760.00	0.239678	91.5	0	1
151.626	760.00	0.208346	93.3	0	1
113.88	760.00	0.165151	95.2	0	1
75.8629	760.00	0.12184	97.4	0	1
37.2347	760.00	0.0734899	100.2	0	1

### Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data			
<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on Nitrogen	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å Temperature 77.350K	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

### Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((Po/P) - 1) ]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((Po/P) - 1) ]
1.00724e-01	0.5581	1.6059e+02	2.50669e-01	1.0659	2.5111e+02
1.50755e-01	0.7241	1.9614e+02	3.00874e-01	1.1854	2.9049e+02
2.00788e-01	0.8789	2.2872e+02			

BET summary	
Slope =	629.298
Intercept =	9.907e+01
Correlation coefficient, r =	0.997180
C constant =	7.352
Surface Area =	4.781 m²/g

### BJH Pore Size Distribution Adsorption

#### Data Reduction Parameters Data

t-Method BJH/DH method Adsorbate	Thermal Transpiration: on Calc. method: de Boer Moving pt. avg.: off Nitrogen Molec. Wt.: 28.013	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å Ignoring P-tags below 0.35 P/Po Temperature 77.350K Cross Section: 16.200 Å²	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm Liquid Density: 0.808 g/cc
--	--	--	---

#### BJH Pore Size Distribution Adsorption Data

Radius [Å]	Pore Volume [cc/g]	Pore Surf Area [m²/g]	dV(r) [cc/Å/g]	dS(r) [m²/Å/g]	dV(logr) [cc/g]	dS(logr) [cc/g]
15.2900	2.4573e-04	3.2142e-01	1.4590e-04	1.9085e-01	5.1315e-03	6.7122e+00
17.0821	7.4876e-04	9.1038e-01	2.6475e-04	3.0998e-01	1.0403e-02	1.2180e+01
19.1447	1.1225e-03	1.3008e+00	1.6795e-04	1.7545e-01	7.3951e-03	7.7255e+00
21.5792	1.4062e-03	1.5638e+00	1.0734e-04	9.9482e-02	5.3267e-03	4.9368e+00
24.4944	2.2176e-03	2.2263e+00	2.5460e-04	2.0788e-01	1.4339e-02	1.1708e+01
28.1124	2.7408e-03	2.5985e+00	1.2921e-04	9.1924e-02	8.3494e-03	5.9400e+00
32.7459	3.5465e-03	3.0906e+00	1.5442e-04	9.4316e-02	1.1619e-02	7.0964e+00
38.9641	4.1940e-03	3.4229e+00	8.9691e-05	4.6038e-02	8.0238e-03	4.1186e+00
47.8347	4.9151e-03	3.7244e+00	6.8531e-05	2.8653e-02	7.5177e-03	3.1432e+00
61.6017	5.8500e-03	4.0280e+00	5.4960e-05	1.7844e-02	7.7459e-03	2.5148e+00
86.9713	6.4804e-03	4.1729e+00	1.8690e-05	4.2979e-03	3.6954e-03	8.4979e-01
151.3519	7.5128e-03	4.3094e+00	1.0863e-05	1.4355e-03	3.6580e-03	4.8338e-01
1129.2716	8.9190e-03	4.3343e+00	7.5568e-07	1.3384e-05	1.3851e-03	2.4531e-02

#### BJH adsorption summary

Surface Area = 4.334 m²/g  
Pore Volume = 0.009 cc/g  
Pore Radius Dv(r) = 17.082 Å

### BJH Pore Size Distribution Desorption

#### Data Reduction Parameters Data

t-Method BJH/DH method Adsorbate	Thermal Transpiration: on Calc. method: de Boer Moving pt. avg.: off Nitrogen Molec. Wt.: 28.013	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å Ignoring P-tags below 0.35 P/Po Temperature 77.350K Cross Section: 16.200 Å²	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm Liquid Density: 0.808 g/cc
--	--	--	---

#### BJH Pore Size Distribution Desorption Data

Radius [Å]	Pore Volume [cc/g]	Pore Surf Area [m²/g]	dV(r) [cc/Å/g]	dS(r) [m²/Å/g]	dV(logr) [cc/g]	dS(logr) [cc/g]
17.0247	6.6460e-04	7.8074e-01	3.4952e-04	4.1061e-01	1.3687e-02	1.6079e+01
19.0815	1.3500e-03	1.4992e+00	3.0985e-04	3.2477e-01	1.3599e-02	1.4253e+01
21.4966	1.9458e-03	2.0535e+00	2.2756e-04	2.1172e-01	1.1250e-02	1.0467e+01
24.4016	2.3537e-03	2.3878e+00	1.2781e-04	1.0475e-01	7.1708e-03	5.8773e+00
28.0240	2.7801e-03	2.6921e+00	1.0518e-04	7.5068e-02	6.7755e-03	4.8355e+00
32.6219	3.6064e-03	3.1987e+00	1.6068e-04	9.8511e-02	1.2044e-02	7.3842e+00
38.7784	3.6810e-03	3.2372e+00	1.0406e-05	5.3671e-03	9.2655e-04	4.7787e-01
47.6575	3.9446e-03	3.3478e+00	2.4892e-05	1.0446e-02	2.7203e-03	1.1416e+00
61.3488	4.5781e-03	3.5543e+00	3.7725e-05	1.2299e-02	5.2956e-03	1.7264e+00
86.5537	4.7595e-03	3.5962e+00	5.3938e-06	1.2464e-03	1.0613e-03	2.4524e-01
154.1904	5.3475e-03	3.6725e+00	5.7850e-06	7.5036e-04	1.9772e-03	2.5646e-01
848.8666	6.4380e-03	3.6982e+00	8.4683e-07	1.9952e-05	1.2648e-03	2.9799e-02
1776.1940	6.5104e-03	3.6990e+00	1.2763e-07	1.4371e-06	5.1751e-04	5.8271e-03

#### BJH desorption summary

Surface Area = 3.699 m²/g  
Pore Volume = 0.007 cc/g  
Pore Radius Dv(r) = 17.025 Å

### Average Pore Size

#### Data Reduction Parameters Data

<u>Adsorbate</u>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
Nitrogen		Temperature 77.350K	
Molec. Wt.: 28.013		Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

#### Average Pore Size summary

Average pore Radius = 3.78268e+01 Å

### Total Pore Volume

#### Data Reduction Parameters Data

<u>Adsorbate</u>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
Nitrogen		Temperature 77.350K	
Molec. Wt.: 28.013		Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

#### Total Pore Volume summary

Total pore volume = 9.043e-03 cc/g for  
pores smaller than 2059.7 Å (Radius)  
at P/Po = 0.99533

## L.6.2 Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)

#### Raw Analysis Data

Press	P0	Volume @ STP	Time	Tot	Equ
[Torr]	[Torr]	[cc]	[min]		
38.4171	760.00	0.0373129	2.9	0	1
76.5587	760.00	0.0590112	4.7	0	1
114.522	760.00	0.0824684	6.3	0	1
152.503	760.00	0.107251	8.1	0	1
190.54	760.00	0.129744	10.3	0	1
228.471	760.00	0.155387	14.1	0	1
266.326	760.00	0.187249	17.8	0	1
304.273	760.00	0.223132	21.6	0	1
342.225	760.00	0.259519	25.7	0	1
380.229	760.00	0.29465	30.0	0	1
418.025	760.00	0.339965	34.1	0	1
456.115	760.00	0.379453	38.5	0	1
493.952	760.00	0.427066	43.1	0	1
531.51	760.00	0.496243	48.0	0	1
570.055	760.00	0.537834	51.0	0	1
607.516	760.00	0.604703	55.1	0	1
645.692	760.00	0.662669	59.4	0	1
683.363	760.00	0.738271	64.1	0	1
722.324	760.00	0.762842	69.0	0	1
756.094	760.00	0.91502	78.0	0	1
754.743	760.00	0.922882	82.4	0	1
721.584	760.00	0.888817	86.0	0	1
683.353	760.00	0.861046	91.3	0	1
645.396	760.00	0.832271	96.3	0	1
607.443	760.00	0.801083	101.3	0	1
569.273	760.00	0.777928	105.8	0	1
531.492	760.00	0.744002	110.2	0	1
493.681	760.00	0.700427	114.4	0	1
455.362	760.00	0.671835	118.6	0	1
417.576	760.00	0.637019	121.9	0	1
379.847	760.00	0.589697	124.6	0	1
341.631	760.00	0.546632	128.8	0	1
303.827	760.00	0.49367	132.7	0	1
265.906	760.00	0.440327	134.4	0	1
228.026	760.00	0.381233	136.2	0	1
189.977	760.00	0.32399	137.9	0	1
152.28	760.00	0.264159	139.6	0	1
114.088	760.00	0.203461	141.3	0	1
76.1689	760.00	0.141575	143.4	0	1
37.2435	760.00	0.0716991	146.0	0	1

### Multi-Point BET

#### Data Reduction Parameters Data

<u>Adsorbate</u>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

#### Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((Po/P) - 1) ]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [ W((Po/P) - 1) ]
1.00735e-01	1.1946	7.5031e+01	2.50711e-01	2.6264	1.0193e+02
1.50686e-01	1.6694	8.5036e+01	3.00620e-01	3.1455	1.0934e+02
2.00662e-01	2.1711	9.2516e+01			

#### BET summary

Slope =	171.098
Intercept =	5.843e+01
Correlation coefficient, r =	0.998779
C constant =	3.928
Surface Area =	15.172 m²/g

### BJH Pore Size Distribution Adsorption

#### Data Reduction Parameters Data

<u>t-Method</u>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
<u>BJH/DH method</u>	Calc. method: de Boer		
<u>Adsorbate</u>	Moving pt. avg.: off	Ignoring P-tags below 0.35 P/Po	
	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

#### BJH Pore Size Distribution Adsorption Data

Radius [Å]	Pore Volume [cc/g]	Pore Surf Area [m²/g]	dV(r) [cc/Å/g]	dS(r) [m²/Å/g]	dV(logr) [cc/g]	dS(logr) [cc/g]
15.2818	1.6923e-03	2.2148e+00	1.0126e-03	1.3253e+00	3.5596e-02	4.6586e+01
17.0702	3.4038e-03	4.2200e+00	8.9814e-04	1.0523e+00	3.5265e-02	4.1318e+01
19.1327	4.9908e-03	5.8790e+00	7.1509e-04	7.4750e-01	3.1468e-02	3.2894e+01
21.5536	7.2252e-03	7.9523e+00	8.5198e-04	7.9057e-01	4.2231e-02	3.9187e+01
24.4747	9.0275e-03	9.4251e+00	5.5980e-04	4.5745e-01	3.1502e-02	2.5742e+01
28.0918	1.1264e-02	1.1017e+01	5.5703e-04	3.9658e-01	3.5969e-02	2.5608e+01
32.6894	1.4673e-02	1.3103e+01	6.5805e-04	4.0261e-01	4.9427e-02	3.0241e+01
38.9210	1.6486e-02	1.4035e+01	2.4901e-04	1.2796e-01	2.2251e-02	1.1434e+01
47.7476	1.9509e-02	1.5301e+01	2.9144e-04	1.2208e-01	3.1916e-02	1.3368e+01
61.5138	2.1982e-02	1.6105e+01	1.4413e-04	4.6861e-02	2.0282e-02	6.5942e+00
86.5370	2.5091e-02	1.6824e+01	9.4534e-05	2.1848e-02	1.8608e-02	4.3005e+00
153.2192	2.5983e-02	1.6940e+01	8.8825e-06	1.1595e-03	3.0180e-03	3.9395e-01
1037.4505	3.0897e-02	1.7035e+01	2.9457e-06	5.6788e-05	5.0985e-03	9.8289e-02

#### BJH adsorption summary

Surface Area =	17.035 m²/g
Pore Volume =	0.031 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	15.282 Å

BJH Pore Size Distribution Desorption

Data Reduction Parameters Data			
t-Method BJH/DH method Adsorbate	Thermal Transpiration: on Calc. method: de Boer Moving pt. avg.: off Nitrogen Molec. Wt.: 28.013	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å Ignoring P-tags below 0.35 P/Po Temperature 77.350K Cross Section: 16.200 Å²	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm Liquid Density: 0.808 g/cc

BJH Pore Size Distribution Desorption Data						
Radius	Pore Volume	Pore Surf Area	dV(r)	dS(r)	dV(logr)	dS(logr)
Å	cc/g	m²/g	cc/Å/g	m²/Å/g	cc/g	cc/g
17.0437	3.0485e-03	3.5773e+00	1.6091e-03	1.8882e+00	6.3085e-02	7.4027e+01
19.1046	5.3788e-03	6.0168e+00	1.0463e-03	1.0953e+00	4.5974e-02	4.8129e+01
21.5245	7.9843e-03	8.4377e+00	9.9731e-04	9.2668e-01	4.9368e-02	4.5872e+01
24.4223	9.7604e-03	9.8922e+00	5.5794e-04	4.5691e-01	3.1331e-02	2.5658e+01
28.0402	1.1116e-02	1.0859e+01	3.3460e-04	2.3866e-01	2.1566e-02	1.5382e+01
32.6717	1.3298e-02	1.2195e+01	4.1870e-04	2.5631e-01	3.1432e-02	1.9241e+01
38.8319	1.4909e-02	1.3024e+01	2.2654e-04	1.1668e-01	2.0199e-02	1.0403e+01
47.6473	1.5919e-02	1.3449e+01	9.6034e-05	4.0310e-02	1.0493e-02	4.4045e+00
61.4135	1.7261e-02	1.3886e+01	7.8893e-05	2.5692e-02	1.1085e-02	3.6098e+00
86.4431	1.8427e-02	1.4155e+01	3.5287e-05	8.1642e-03	6.9372e-03	1.6050e+00
151.3275	1.9463e-02	1.4292e+01	1.0707e-05	1.4151e-03	3.6001e-03	4.7580e-01
796.9612	2.0573e-02	1.4320e+01	9.2923e-07	2.3319e-05	1.3152e-03	3.3006e-02
1632.8380	2.0573e-02	1.4320e+01	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00	0.0000e+00

BJH desorption summary	
Surface Area =	14.320 m²/g
Pore Volume =	0.021 cc/g
Pore Radius Dv(r) =	17.044 Å

Average Pore Size

Data Reduction Parameters Data			
Adsorbate	Thermal Transpiration: on Nitrogen Molec. Wt.: 28.013	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å Temperature 77.350K Cross Section: 16.200 Å²	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm Liquid Density: 0.808 g/cc

Average Pore Size summary	
Average pore Radius =	3.77669e+01 Å

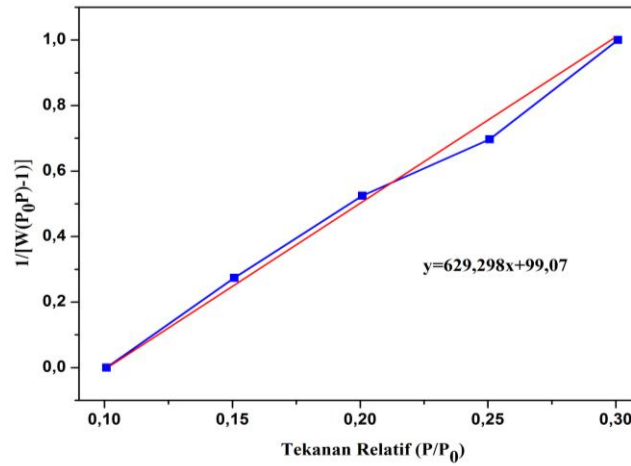
Total Pore Volume

Data Reduction Parameters Data			
Adsorbate	Thermal Transpiration: on Nitrogen Molec. Wt.: 28.013	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å Temperature 77.350K Cross Section: 16.200 Å²	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm Liquid Density: 0.808 g/cc

Total Pore Volume summary	
Total Pore Volume	
Total pore volume = 2.865e-02 cc/g for pores smaller than 1871.4 Å (Radius) at P/Po = 0.99486	

### L.6.3 Penentuan Luas Permukaan menggunakan Metode BET

#### 1. Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)



Gambar L.6.1 Penentuan Luas Permukaan Mangan(II)-2-metil imidazol (140 °C)

Diketahui:

*Slope* : 629,298

Intersep : 99,07

Penentuan Nilai  $W_m$  :

$$W_m = \frac{1}{(s+i)}$$

$$W_m = \frac{1}{(629,298+99,07)}$$

$$W_m = 0,00137$$

Penentuan Nilai Luas Permukaan ( $St$ ):

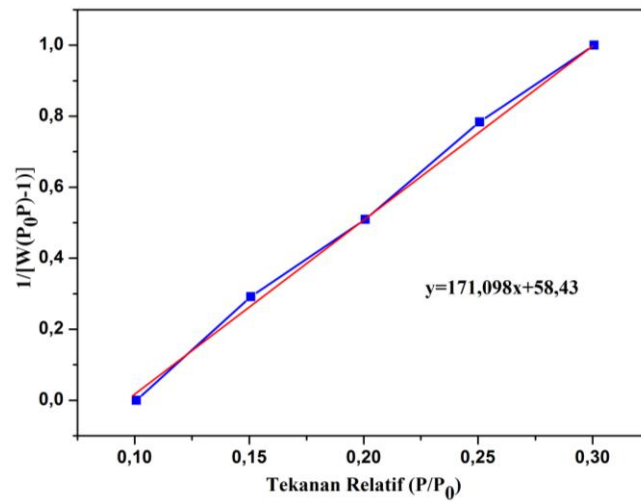
$$St = \frac{W_m \times N \times A_{cs}}{M}$$

$$St = \frac{0,00137 \times 0,225 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28,013}$$

$$St = 4,781 \text{ m}^2/\text{g}$$



### 1. Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)



Gambar L.6.2 Penentuan Luas Permukaan Mangan(II)-2-metil imidazol (150 °C)

Diketahui:

*Slope* : 171,098

Intersep : 58,43

Penentuan Nilai  $W_m$  :

$$W_m = \frac{1}{(s+i)}$$

$$W_m = \frac{1}{(171,098+58,43)}$$

$$W_m = 0,00435$$

Penentuan Nilai Luas Permukaan ( $St$ ):

$$St = \frac{W_m \times N \times A_{cs}}{M}$$

$$St = \frac{0,00435 \times 0,225 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28,013}$$

$$St = 15,172 \text{ m}^2/\text{g}$$